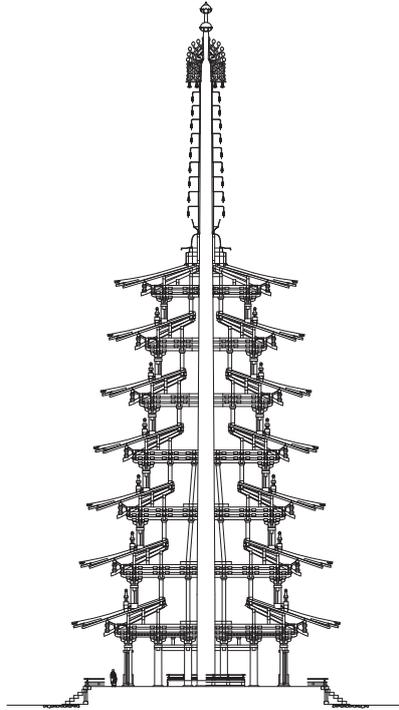


奈良文化財研究所学報第104冊

# 東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]



2024

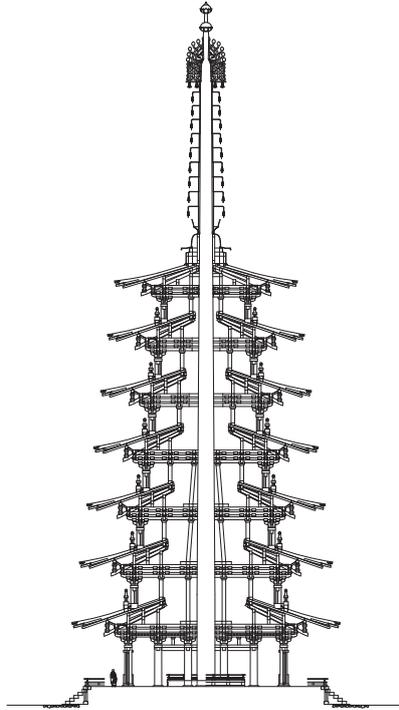
独立行政法人 国立文化財機構  
奈良文化財研究所

本書に掲載した画像、イラスト、文書、資料などすべてのコンテンツは著作権の対象となっています。著作権は日本国の著作権法、国際条約により保護されています。これら著作物を著作権者の許諾なく、著作権法に定められている私的利用の範囲を超えて利用することはできません。

奈良文化財研究所学報第104冊

# 東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]



2024

独立行政法人 国立文化財機構  
奈良文化財研究所

表紙・扉：奈良時代創建の東大寺東塔 復元原案 断面図 1：750  
裏表紙：鎌倉時代再建の東大寺東塔 復元原案 断面図 1：750  
(左：重源の構想を想定した案 右：栄西の構想を想定した案)

本書は〔本文編〕と〔図版・資料編〕の2分冊からなる。〔本文編〕には検討の過程や研究成果の解説を、〔図版・資料編〕には復元原案と既往の復元案の図面、検討のために収集した史資料、構造解析の資料をそれぞれ収録した。

# 東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]

## 目 次

### 図 版

#### 復元原案

天平塔 .....	第 1 ～ 15 図
鎌倉塔 .....	第 16 ～ 19 図

#### 参考資料

既往の復元案 .....	第 20 ～ 30 図
発掘調査成果 .....	第 31 図
絵画資料 .....	第 32 ～ 43 図
類例建物 .....	第 44 ～ 77 図
文献史料 .....	第一～一五図
※ 参考資料の末尾から	

#### 図版出典目録

### 構造解析資料

例 言 .....	( 1 )
天平塔 復元原案 .....	( 5 )
興福寺五重塔 .....	(119)
天平塔 内部柱検討案 .....	(191)

#### 報告書抄録



版 圖

# 図版一覧

## 復元原案

### 天平塔

- 第 1 図 天平塔 立面図
- 第 2 図 天平塔 断面図
- 第 3 図 天平塔 隅行断面図
- 第 4 図 天平塔 初重平面図・初重見上図
- 第 5 図 天平塔 二重平面図・二重見上図
- 第 6 図 天平塔 三重平面図・三重見上図
- 第 7 図 天平塔 四重平面図・四重見上図
- 第 8 図 天平塔 五重平面図・五重見上図
- 第 9 図 天平塔 六重平面図・六重見上図
- 第 10 図 天平塔 七重平面図・七重見上図・七重屋根伏図
- 第 11 図 天平塔 初重・二重断面詳細図
- 第 12 図 天平塔 三重～五重断面詳細図
- 第 13 図 天平塔 六重・七重断面詳細図
- 第 14 図 天平塔 相輪詳細図
- 第 15 図 天平塔 組物詳細図

### 鎌倉塔

- 第 16 図 鎌倉塔重源案 立面図
- 第 17 図 鎌倉塔重源案 断面図
- 第 18 図 鎌倉塔栄西案 立面図
- 第 19 図 鎌倉塔栄西案 断面図

## 参考資料

### 既往の復元案

- 第 20 図 天沼案関連資料「東大寺西七重塔模型設計図」 東大寺所蔵
- 第 21 図 天沼案関連資料「東大寺東塔及西塔計画図」 奈良県所蔵
- 第 22 図 2016年9月案 A・C・E案（全高23丈余り） 東大寺所蔵
- 第 23 図 2016年9月案 B・D・F案（A案塔身高×1.3+相輪高） 東大寺所蔵
- 第 24 図 2016年9月案 G案（全高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 25 図 2016年11月案 A～C案（全高23丈余り） 東大寺所蔵
- 第 26 図 2016年11月案 D～F案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 27 図 2016年11月案 G～I案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 28 図 2016年11月案 J～L案（総高33丈余り） 東大寺所蔵
- 第 29 図 2016年報道発表案 シルエットのもとになった立面図 東大寺所蔵
- 第 30 図 2016年報道発表案 33丈案 復元透視図（北野陽子描画） 東大寺所蔵

## 発掘調査成果

第 31 図 東大寺東塔跡 土層断面図

## 絵画資料

- 第 32 図 「絹本著色東大寺縁起」伽藍幅 東大寺所蔵  
第 33 図 「絹本著色東大寺縁起」伽藍幅（東西塔部分） 東大寺所蔵  
第 34 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」 東大寺所蔵  
第 35 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」（伽藍中心部分） 東大寺所蔵  
第 36 図 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」（東西塔部分） 東大寺所蔵  
第 37 図 『紙本著色信貴山縁起』尼公卷（東大寺大仏殿部分） 朝護孫子寺所蔵  
第 38 図 「絹本著色行基菩薩行狀絵伝」第三幅 家原寺所蔵  
第 39 図 「絹本著色行基菩薩行狀絵伝」第三幅（東大寺大仏殿部分） 家原寺所蔵  
第 40 図 『興福寺建築諸図』「興福寺金堂五拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵  
第 41 図 『興福寺建築諸図』「興福寺金堂式拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵  
第 42 図 『興福寺建築諸図』「興福寺五重塔式拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵  
第 43 図 「南都元興寺大塔式拾歩一図」 奈良県所蔵

## 類例建物

- 第 44 図 法隆寺五重塔 立面図・断面図  
第 45 図 海龍王寺五重小塔 立面図・断面図  
第 46 図 元興寺極楽坊五重小塔 立面図・断面図  
第 47 図 室生寺五重塔 立面図・断面図  
第 48 図 室生寺五重塔（復原） 立面図・断面図  
第 49 図 醍醐寺五重塔 立面図・断面図  
第 50 図 興福寺五重塔 立面図・断面図  
第 51 図 教王護国寺五重塔 立面図・断面図  
第 52 図 法起寺三重塔 立面図・断面図  
第 53 図 薬師寺東塔 立面図・断面図  
第 54 図 薬師寺東塔（復原） 立面図・断面図  
第 55 図 当麻寺東塔 立面図・断面図  
第 56 図 当麻寺東塔（明治修理前） 断面図 奈良県所蔵  
第 57 図 当麻寺西塔 立面図・断面図  
第 58 図 当麻寺西塔（大正修理前） 立断面図 奈良県所蔵  
第 59 図 一乗寺三重塔 立面図・断面図  
第 60 図 浄瑠璃寺三重塔 立面図・断面図  
第 61 図 向上寺三重塔 立面図・断面図  
第 62 図 唐招提寺金堂（復原） 梁行断面図

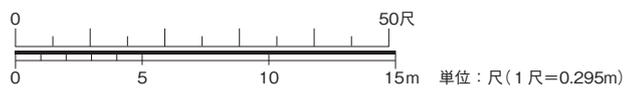
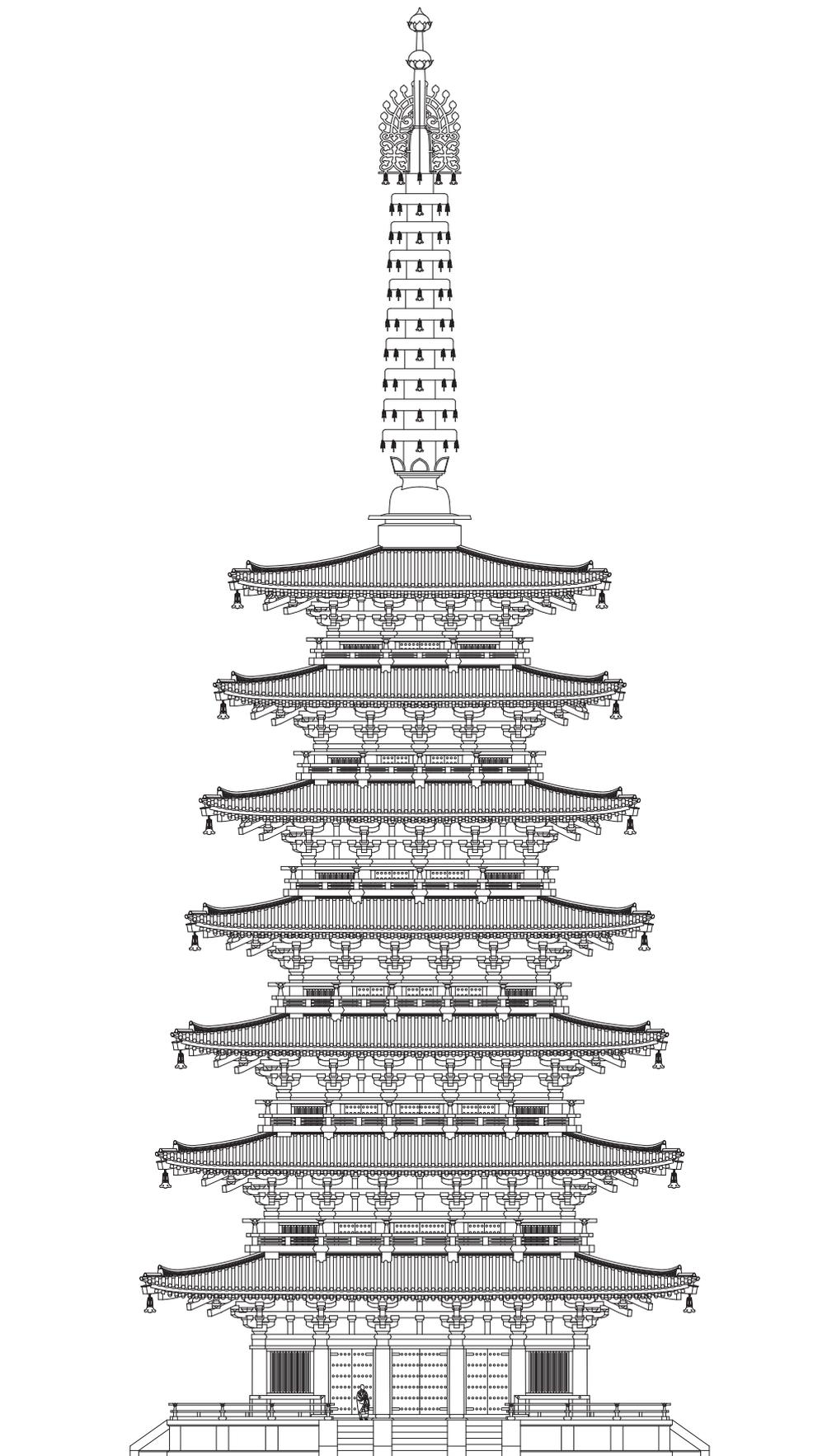
- 第 63 図 仏光寺東大殿 (中国) 梁行断面図
- 第 64 図 喜光寺本堂 梁行断面図
- 第 65 図 金峯山寺本堂 梁行断面図
- 第 66 図 教王護国寺金堂 梁行断面図
- 第 67 図 東大寺転害門 梁行断面図 文化庁所蔵
- 第 68 図 東大寺南大門 平面図・見上図 文化庁所蔵
- 第 69 図 東大寺南大門 南立面図・桁行断面図 文化庁所蔵
- 第 70 図 東大寺南大門 西立面図・梁行断面図 文化庁所蔵
- 第 71 図 東大寺南大門 組物断面詳細図 文化庁所蔵
- 第 72 図 東大寺南大門 小屋組断面詳細図 文化庁所蔵
- 第 73 図 東大寺鐘楼 平面図・見上図
- 第 74 図 東大寺鐘楼 南立面図・桁行断面図
- 第 75 図 東大寺鐘楼 東立面図・梁行断面図
- 第 76 図 東大寺鐘楼 桁行断面詳細図
- 第 77 図 東大寺鐘楼 梁行断面詳細図

文献史料 ※ 参考資料の末尾から

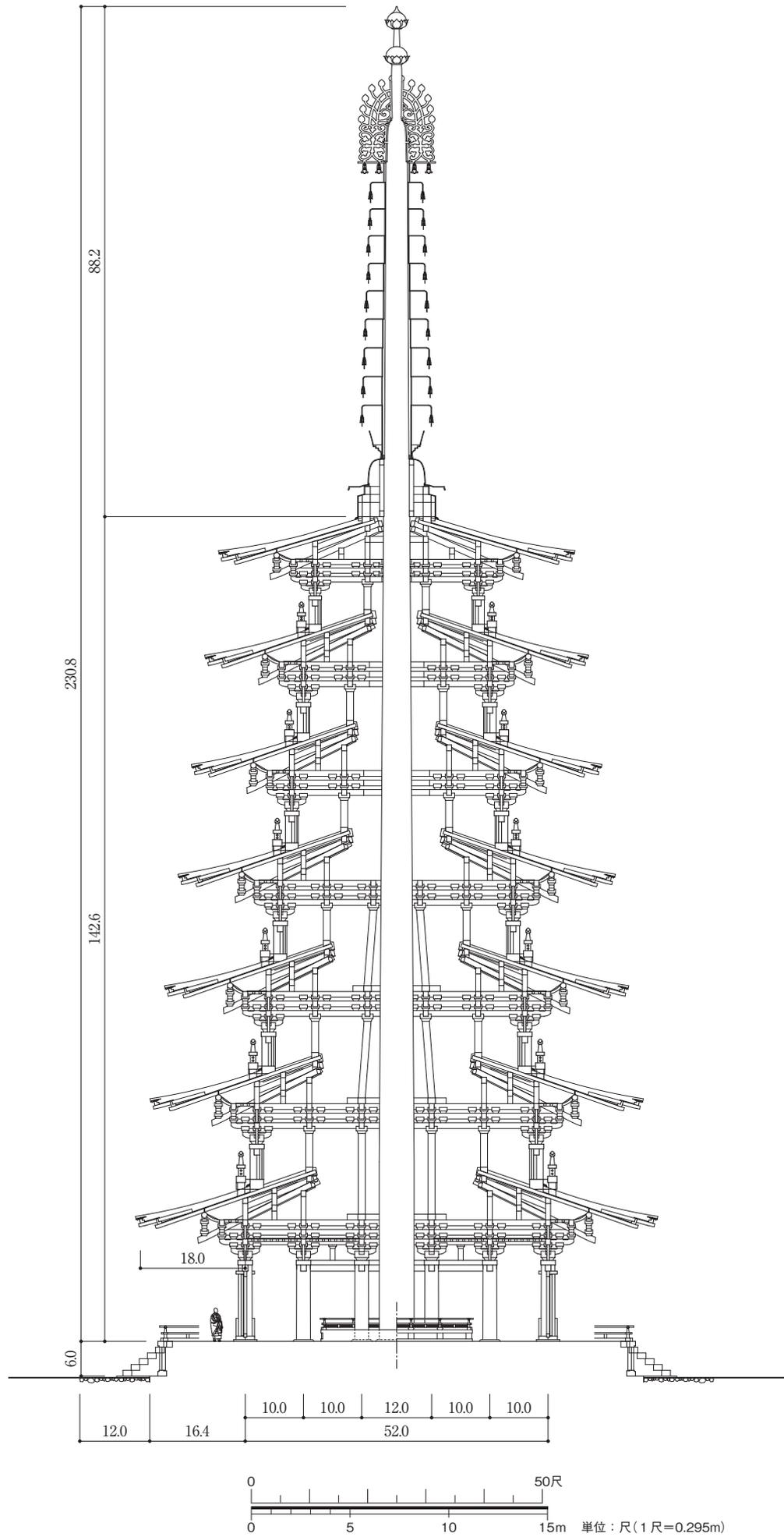
- 第一 図 醍醐寺本『東大寺要録』巻二縁起章第二「大仏殿碑文」(部分) 醍醐寺所蔵
- 第二 図 東大寺本『東大寺要録』巻四諸院章第四「東塔院」・「西塔院」 東大寺所蔵
- 第三 図 東大寺本『東大寺要録』巻七雜事章第十「東大寺権別当美忠二十九箇条事」(部分) 東大寺所蔵
- 第四 図 三条西家旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」 国文学研究資料館所蔵
- 第五 図 葉室家旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」 宮内庁書陵部所蔵
- 第六 図 豊宮崎文庫旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所蔵
- 第七 図 東山御文庫本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 宮内庁所蔵
- 第八 図 紅葉山文庫旧蔵本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 国立公文書館内閣文庫所蔵
- 第九 図 伴信友校訂本『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 東京国立博物館所蔵
- 第一〇 図 林崎文庫旧蔵本・甲『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所蔵
- 第一一 図 林崎文庫旧蔵本・乙『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所蔵
- 第一二 図 林崎文庫旧蔵本・丙『朝野群載』巻十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 神宮文庫所蔵
- 第一三 図 金勝院本『扶桑略記』(抄本 孝謙天皇 部分) 天理大学附属天理図書館所蔵
- 第一四 図 新井白石旧蔵本『扶桑略記』抄節本二(孝謙天皇 部分) 宮内庁書陵部所蔵
- 第一五 図 教王護国寺観智院旧蔵本『七大寺日記』「東大寺」(部分) 奈良国立博物館所蔵

# 復元原案

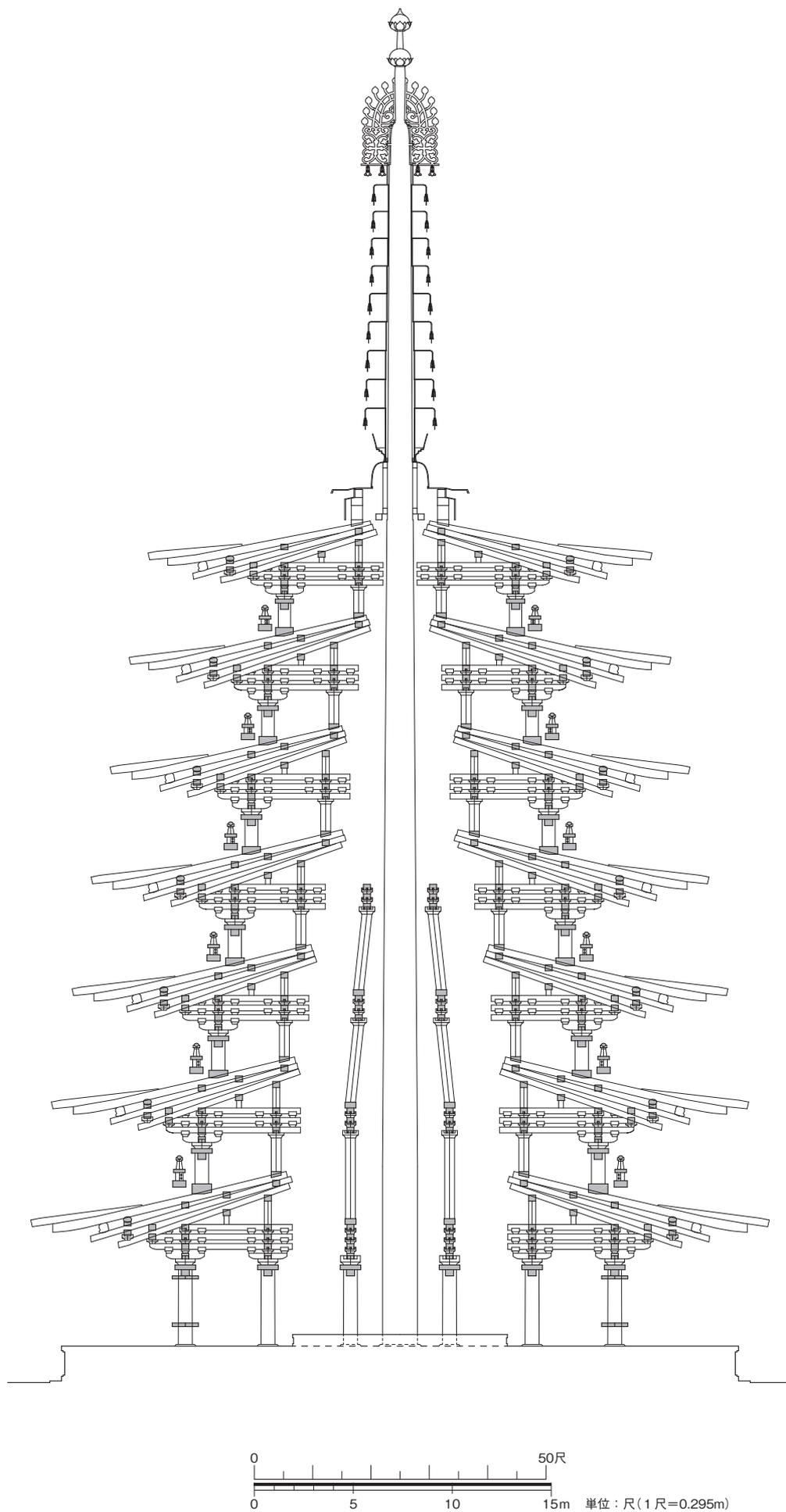
天平塔



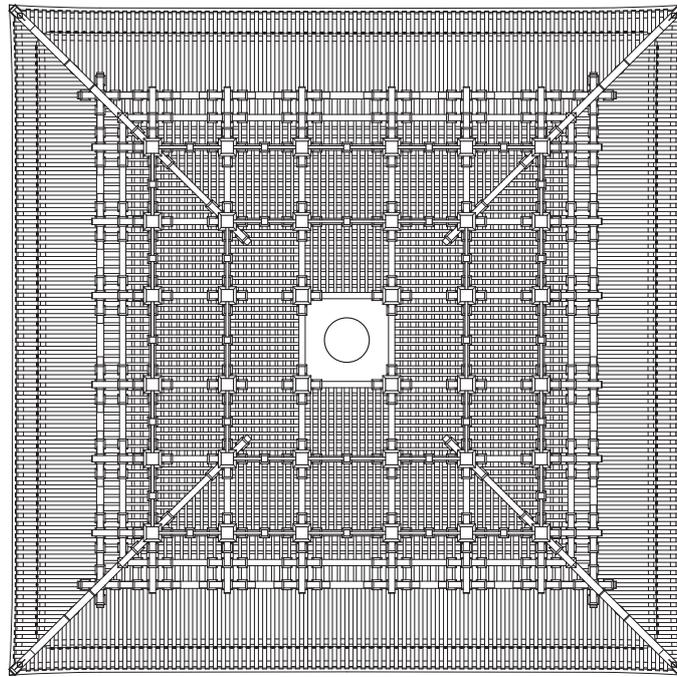
第1図 天平塔 立面図 1:300



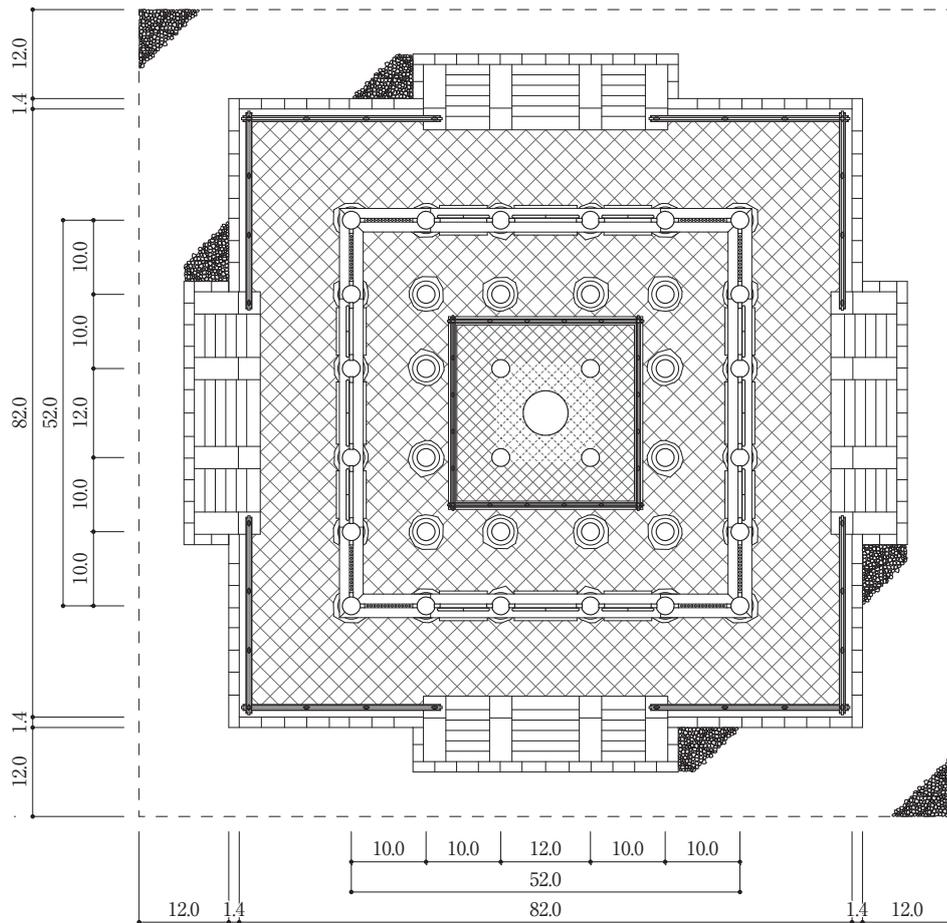
第2図 天平塔 断面図 1:300



第3図 天平塔 隅行断面図 1:300

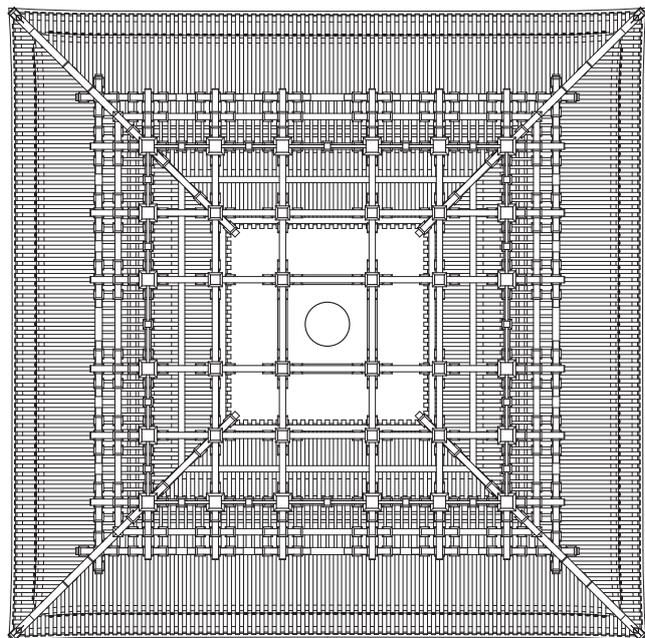


初重見上図

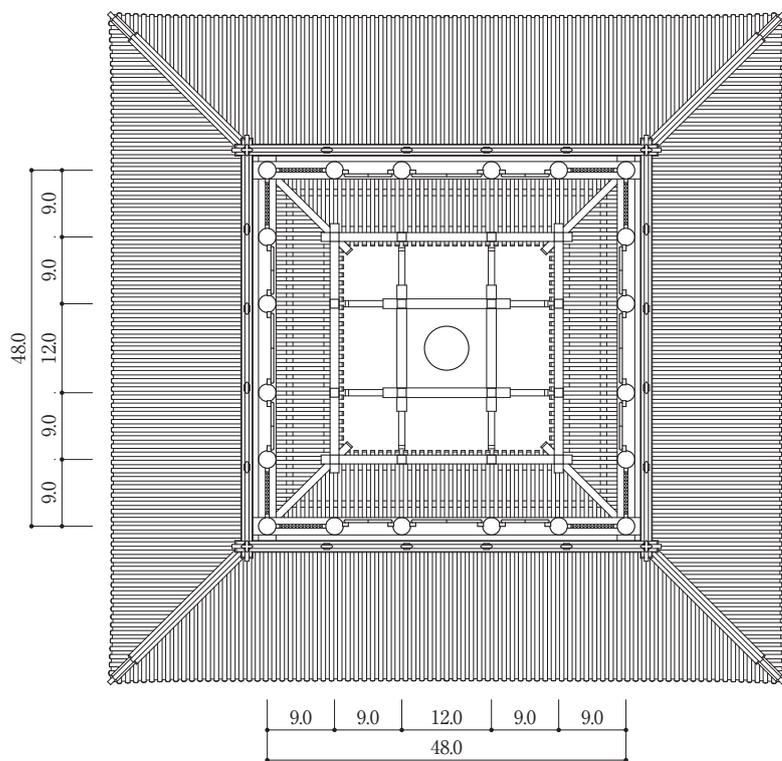


初重平面図



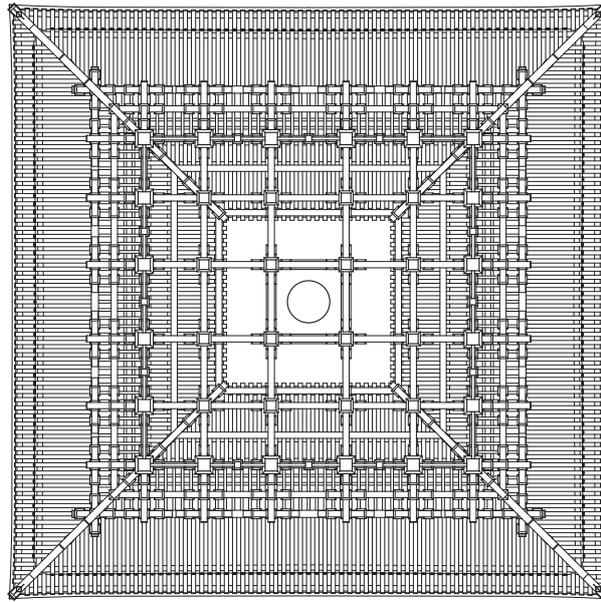


二重見上図

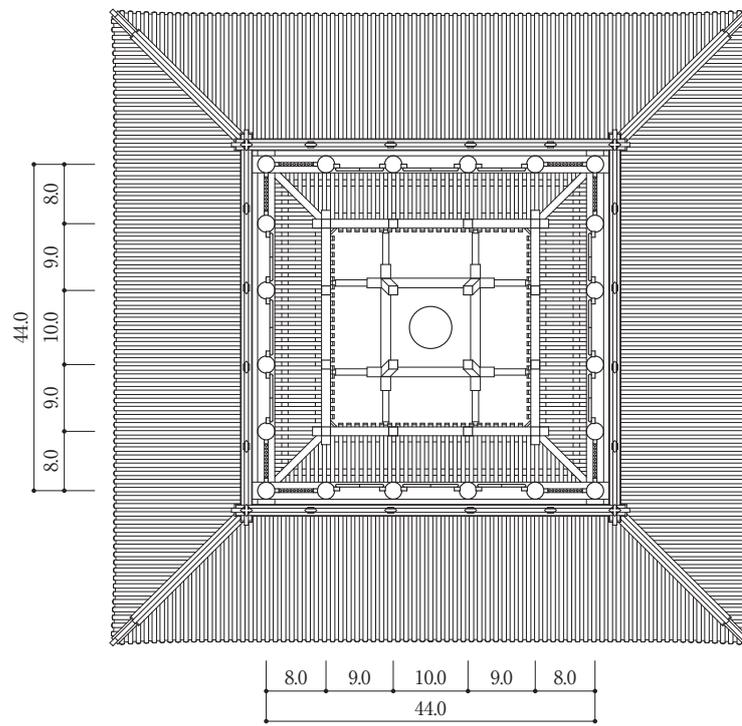


二重平面図

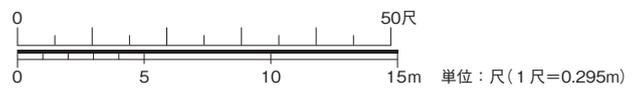


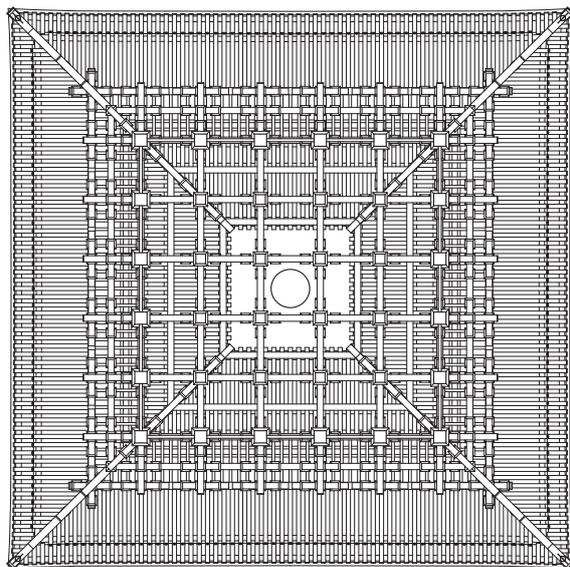


三重見上図

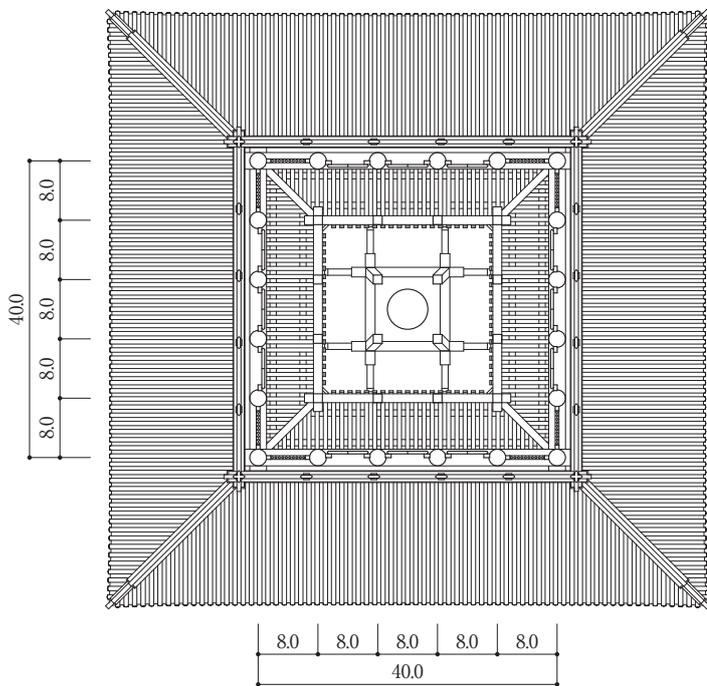


三重平面図



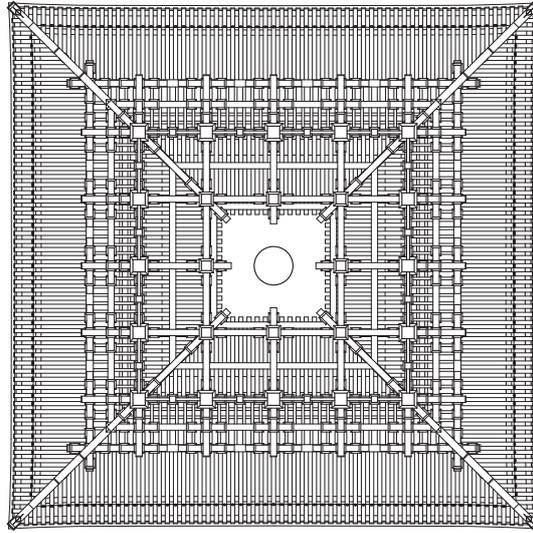


四重見上図

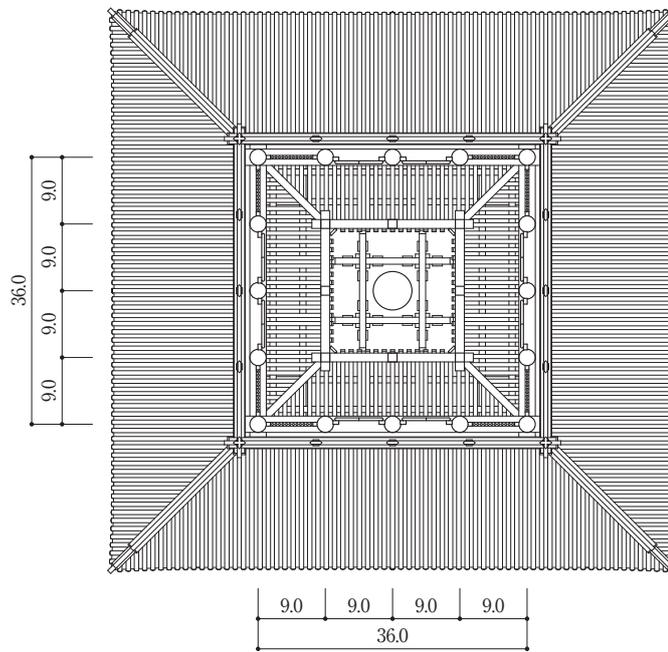


四重平面図



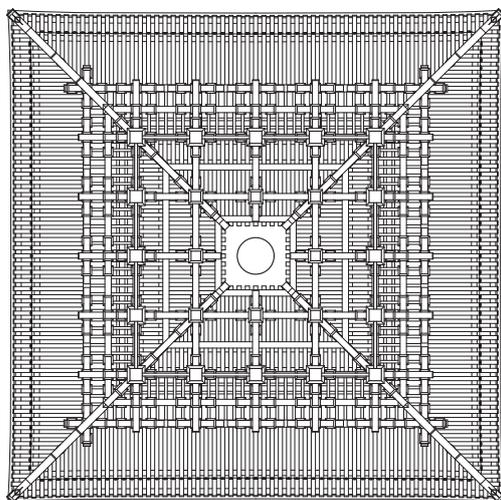


五重見上図

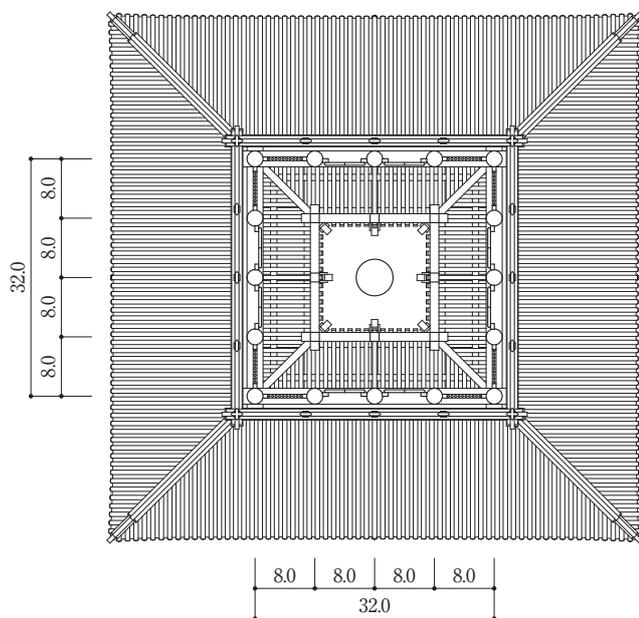


五重平面図

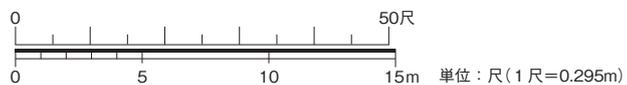


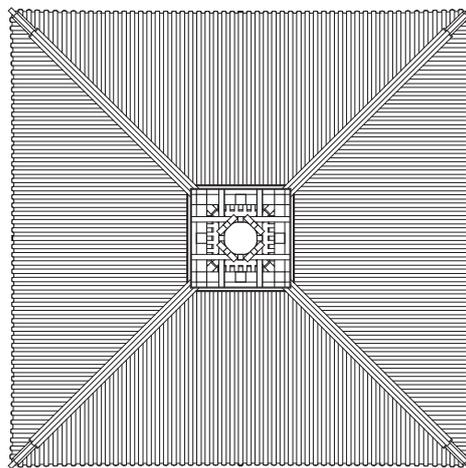


六重見上図

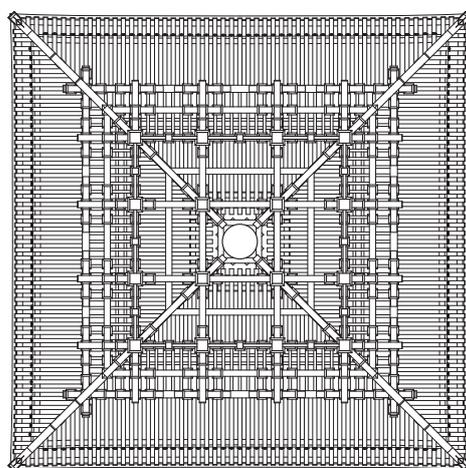


六重平面図

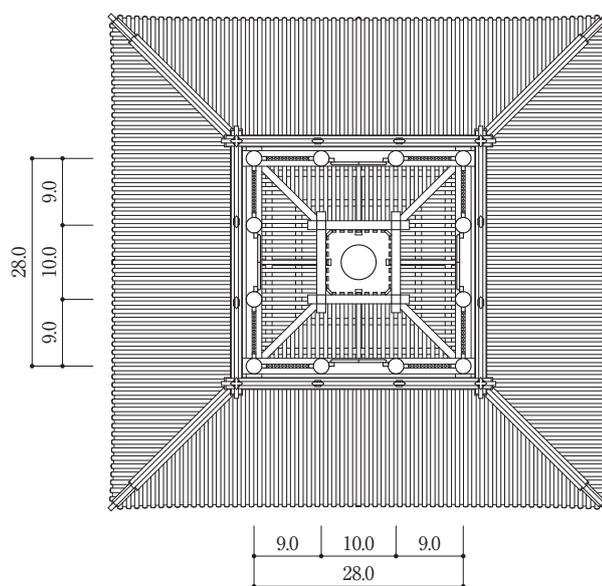




七重屋根伏図

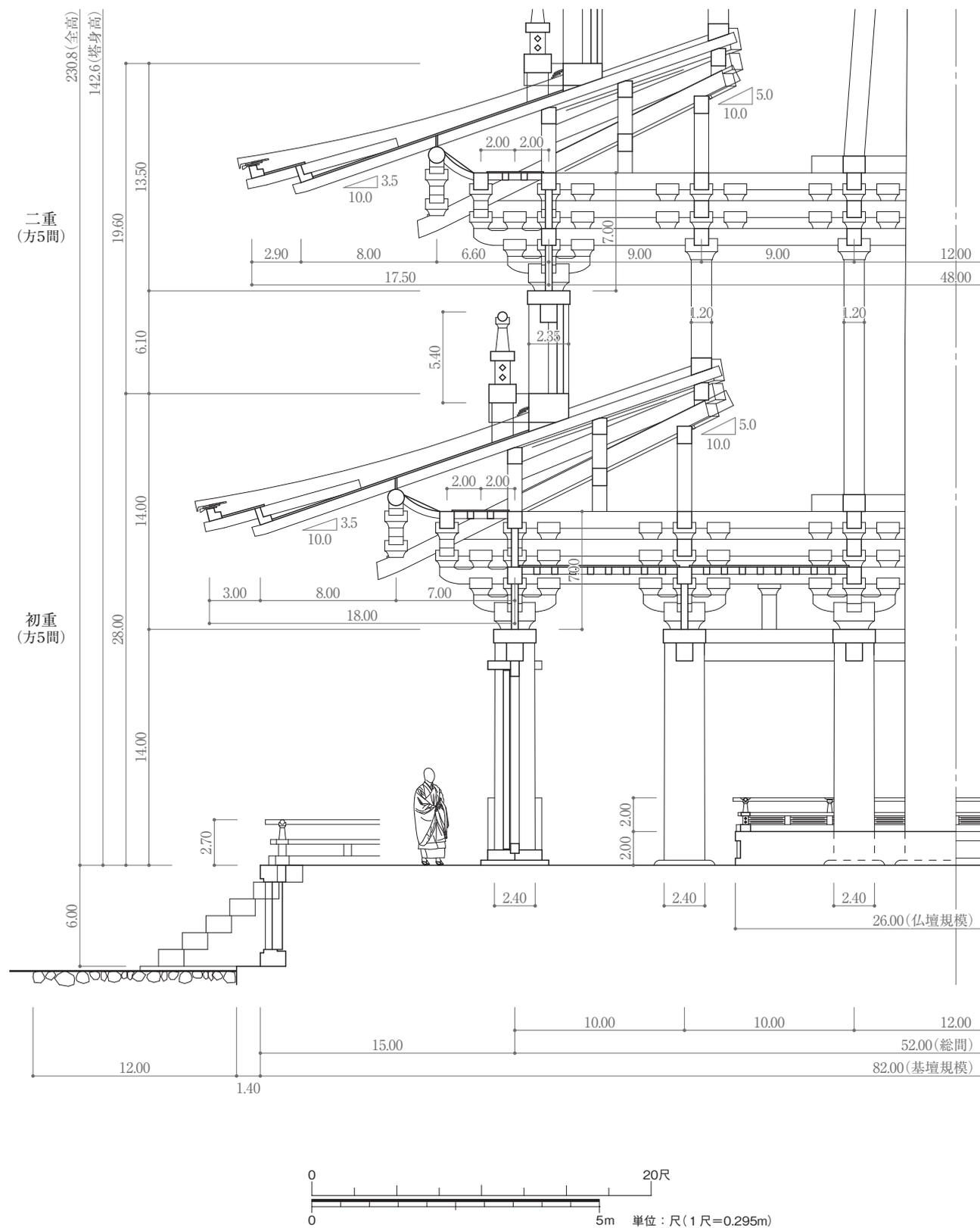


七重見上図

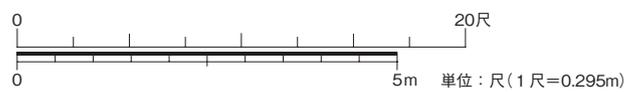
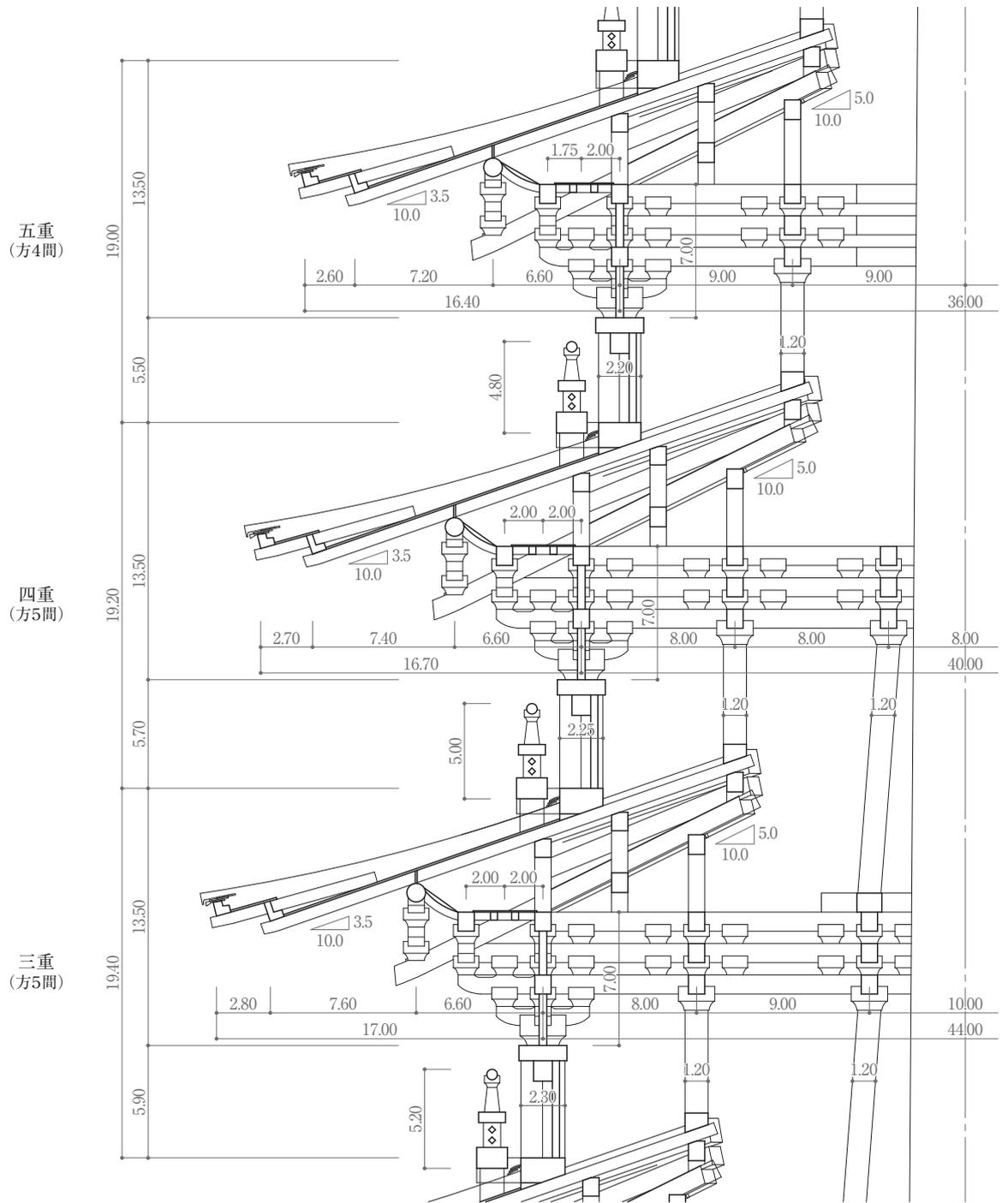


七重平面図

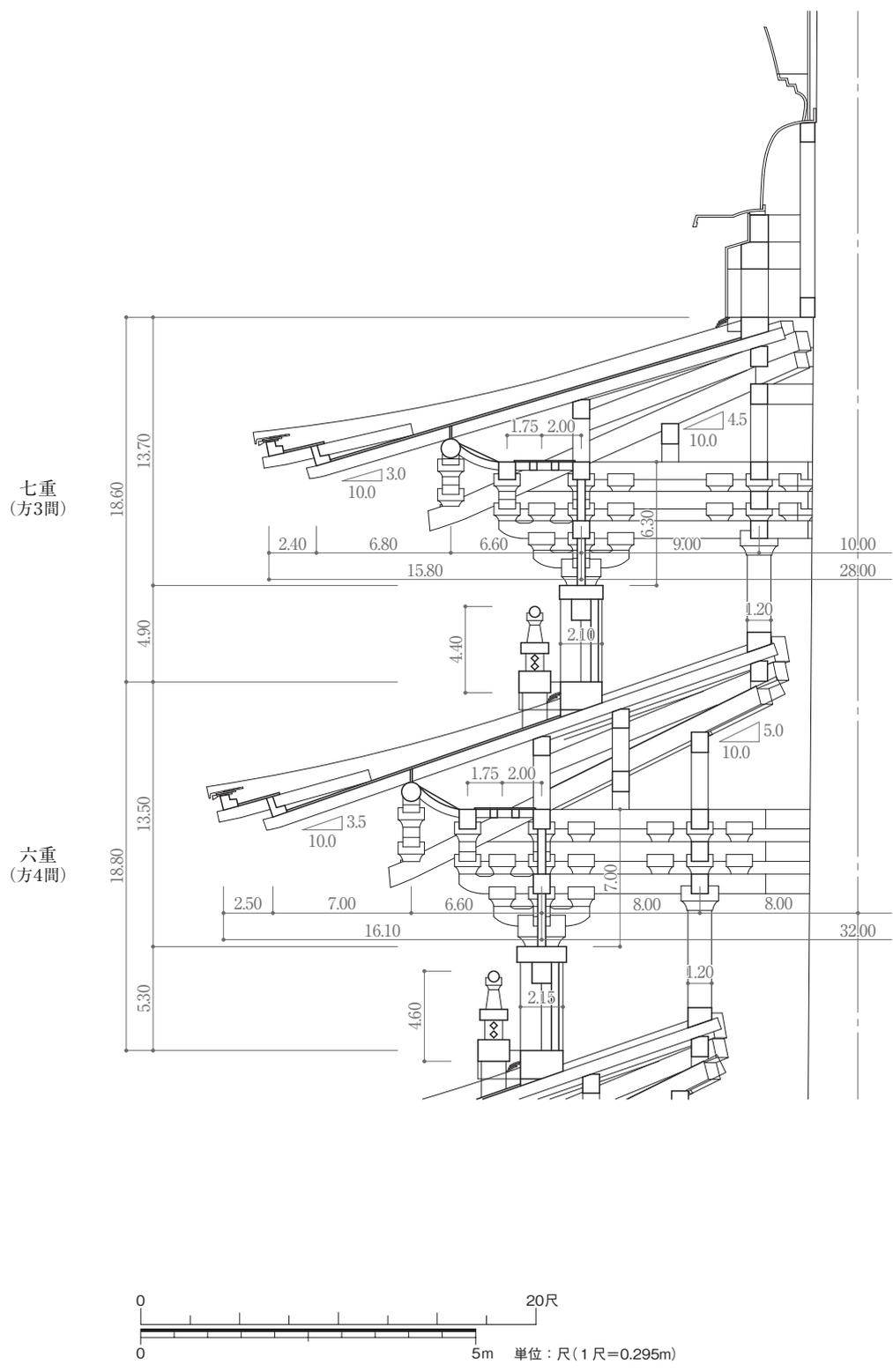




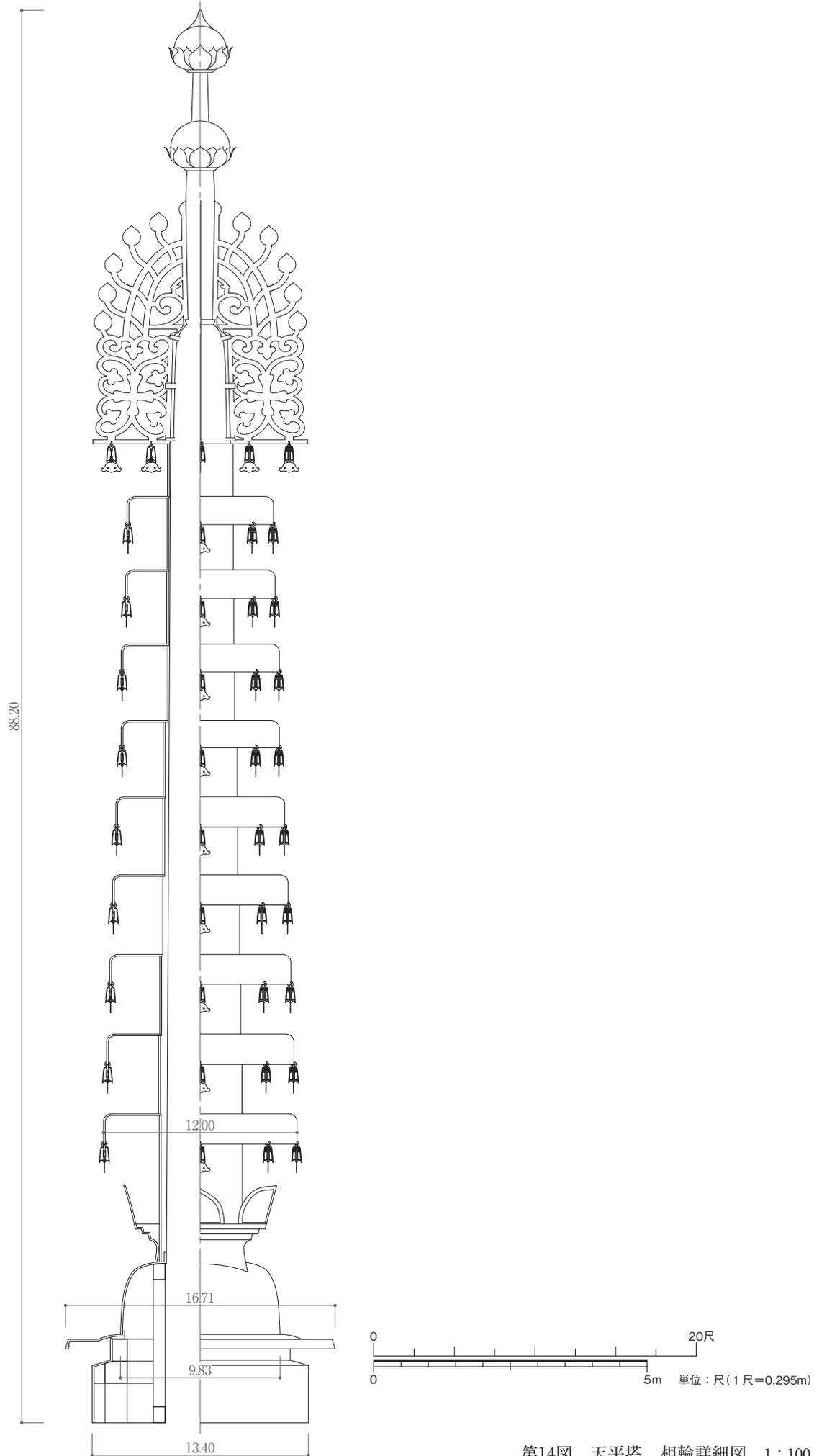
第11図 天平塔 初重・二重断面詳細図 1:100



第12図 天平塔 三重～五重断面詳細図 1:100

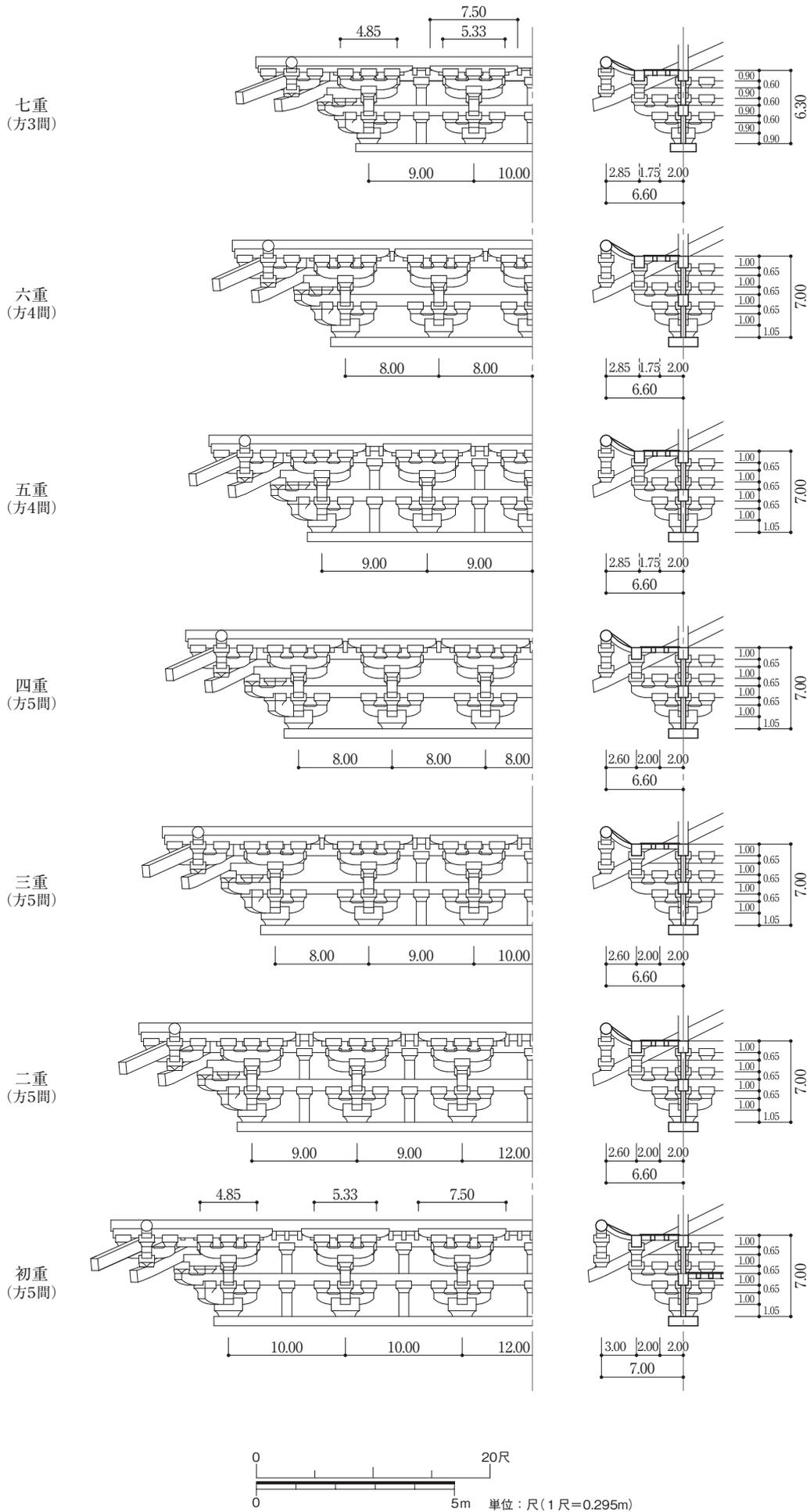


第13図 天平塔 六重・七重断面詳細図 1:100



第14図 天平塔 相輪詳細図 1:100

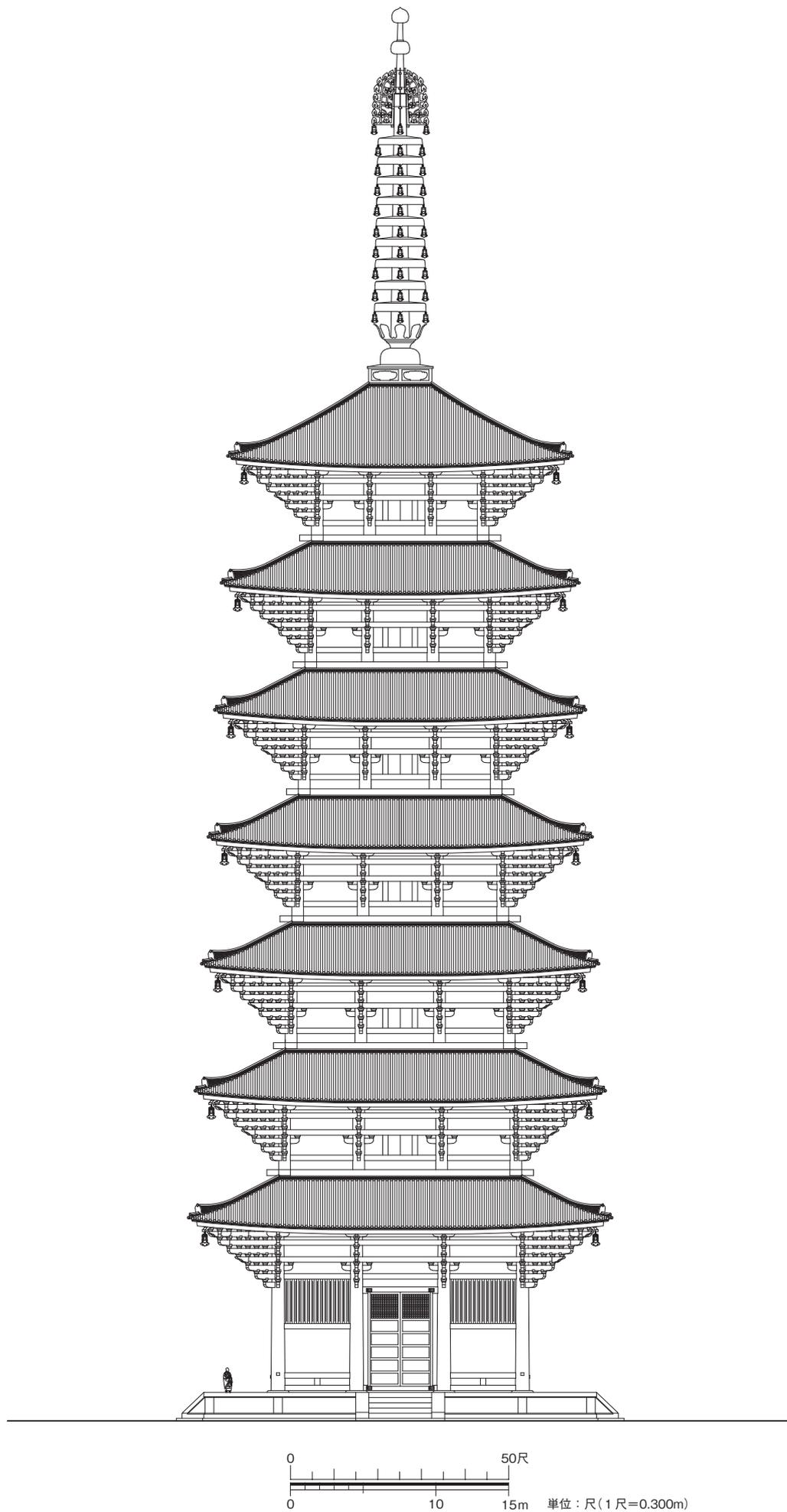
復元原案 天平塔 (15)

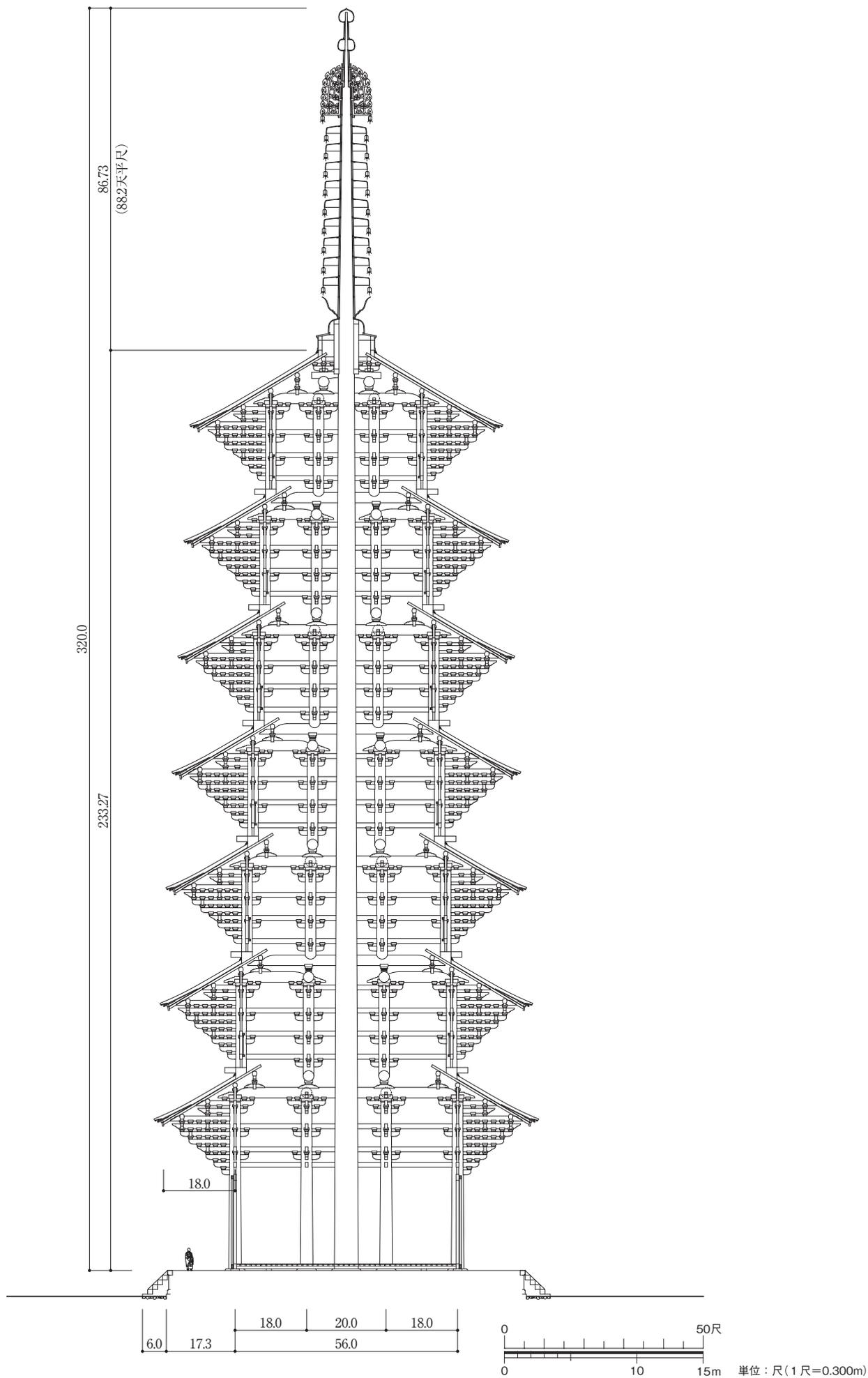


第15図 天平塔 組物詳細図 1:150

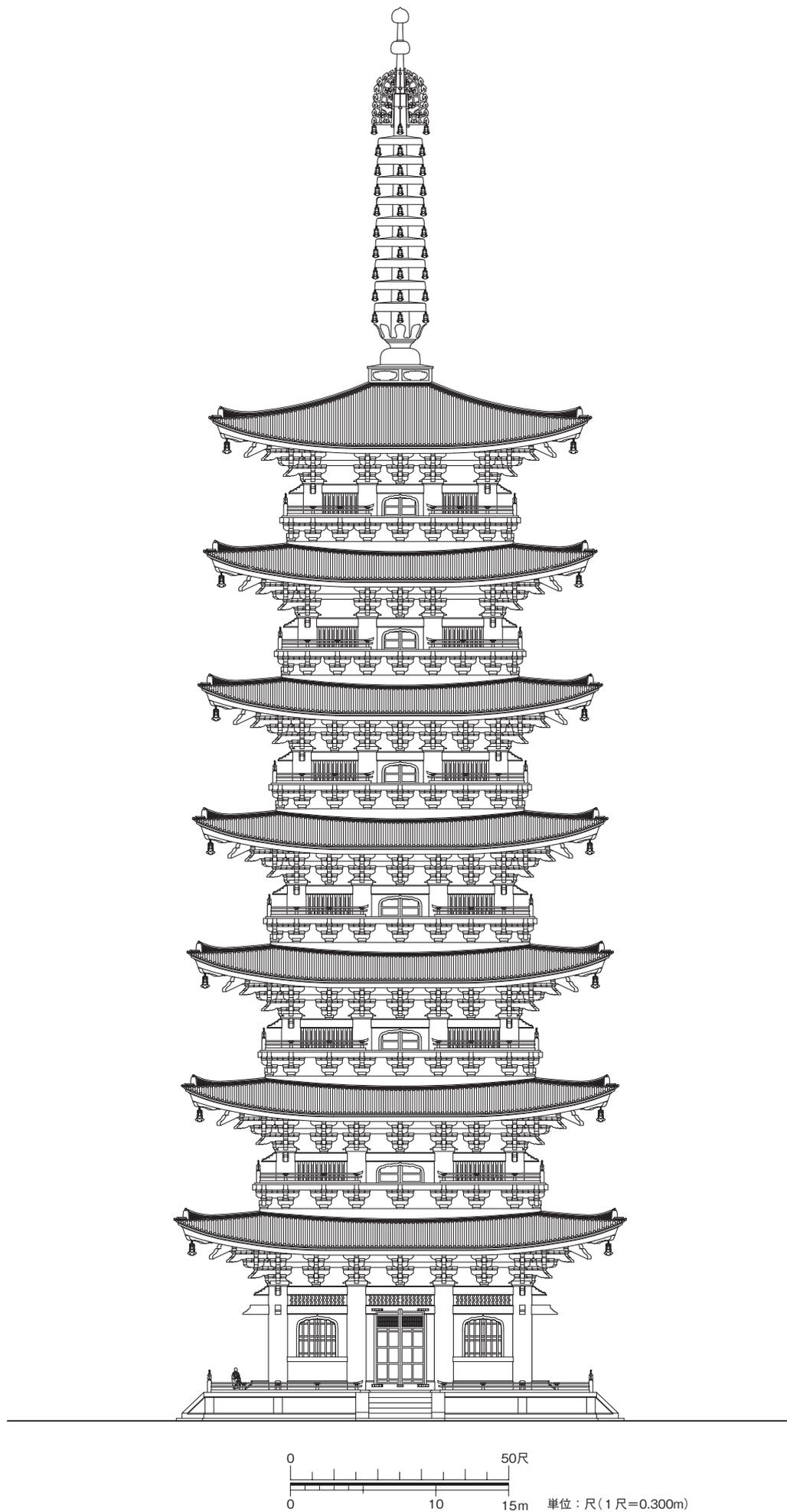
# 復元原案

鎌倉塔

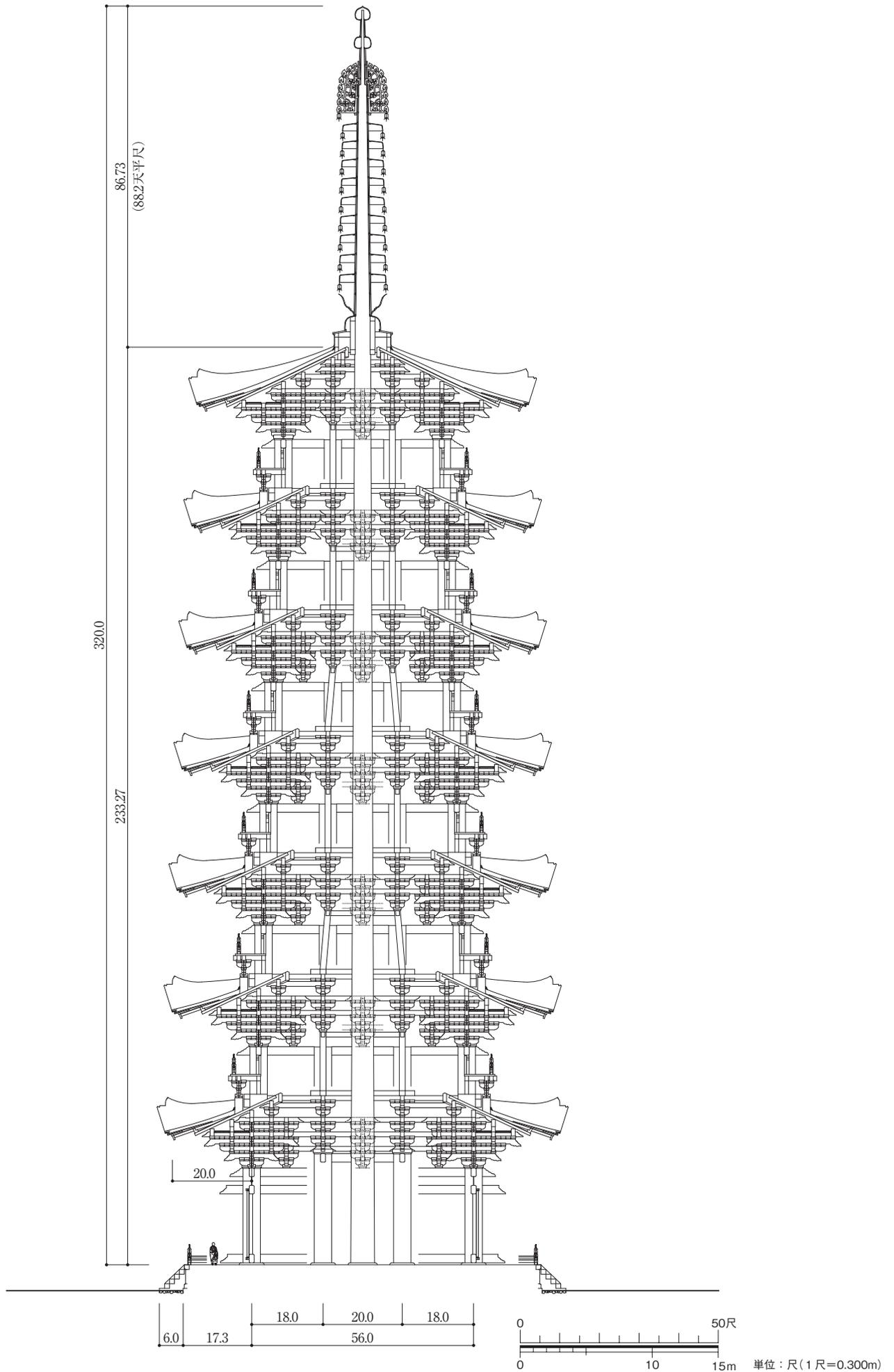




第17図 鎌倉塔重源案 断面図 1:400



第18図 鎌倉塔米西案 立面図 1:400

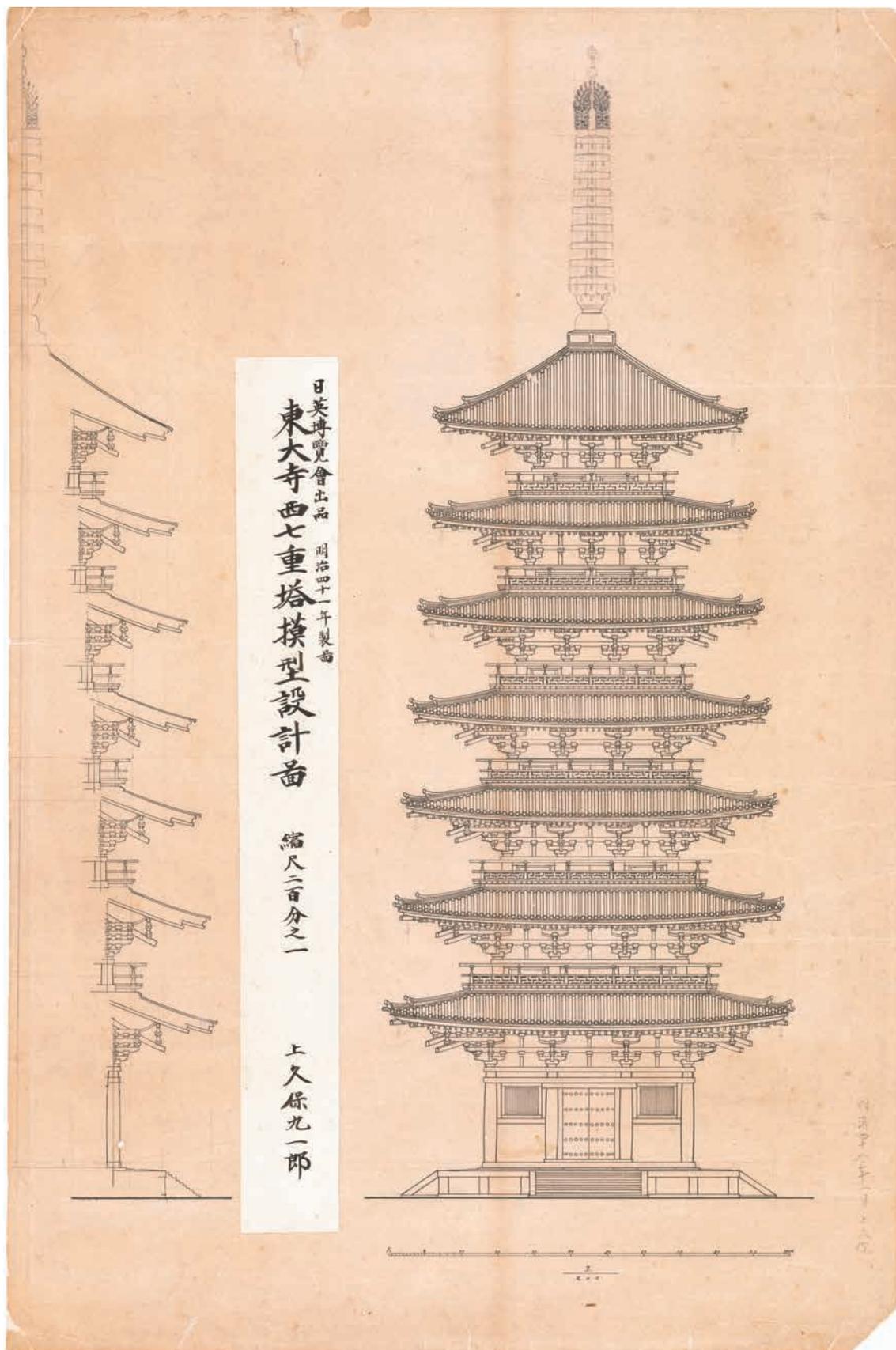


第19図 鎌倉塔栄西案 断面図 1:400

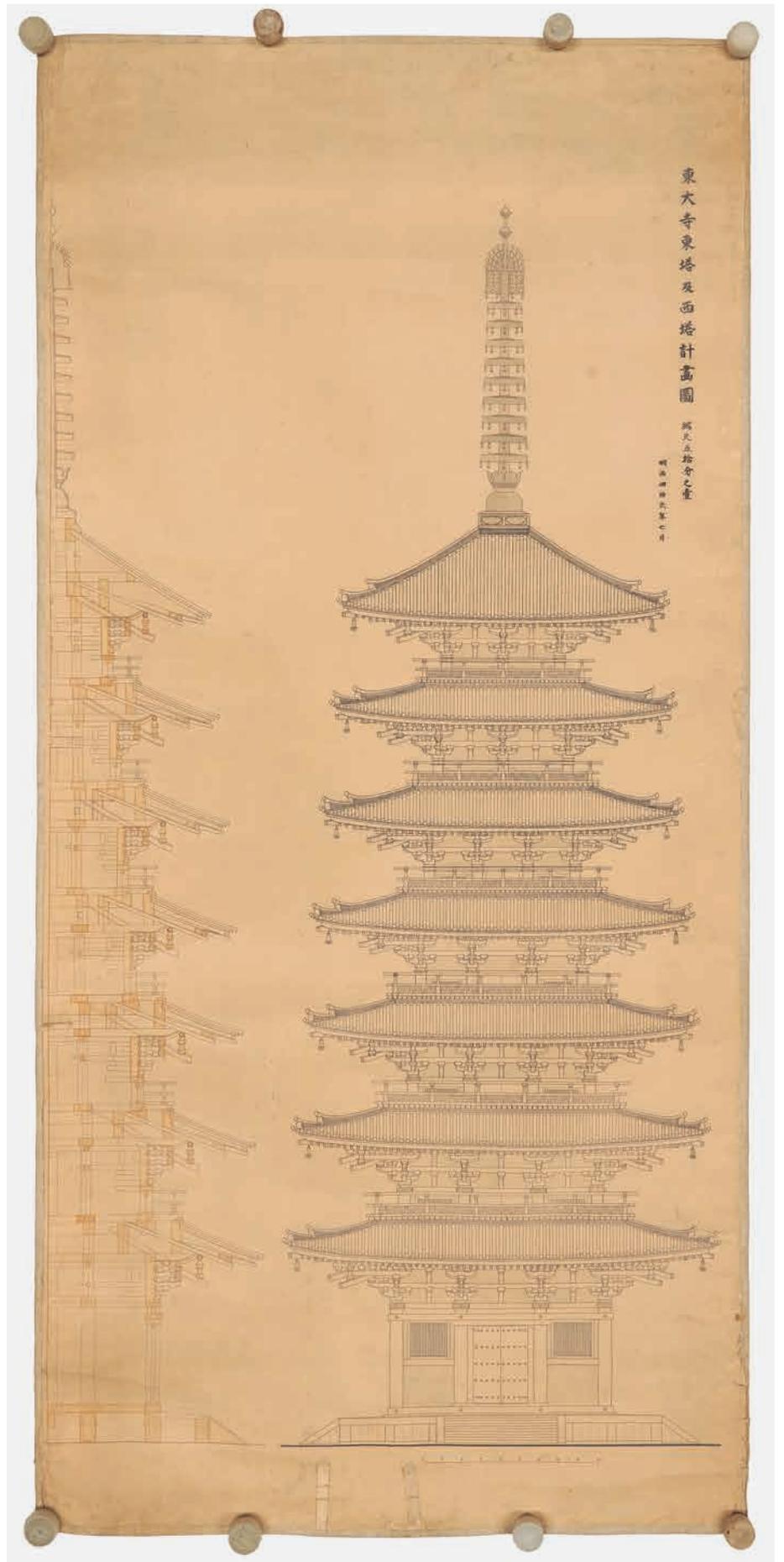


## 参 考 資 料

既往の復元案  
発掘調査成果  
絵 画 資 料  
類 例 建 物  
文 献 史 料

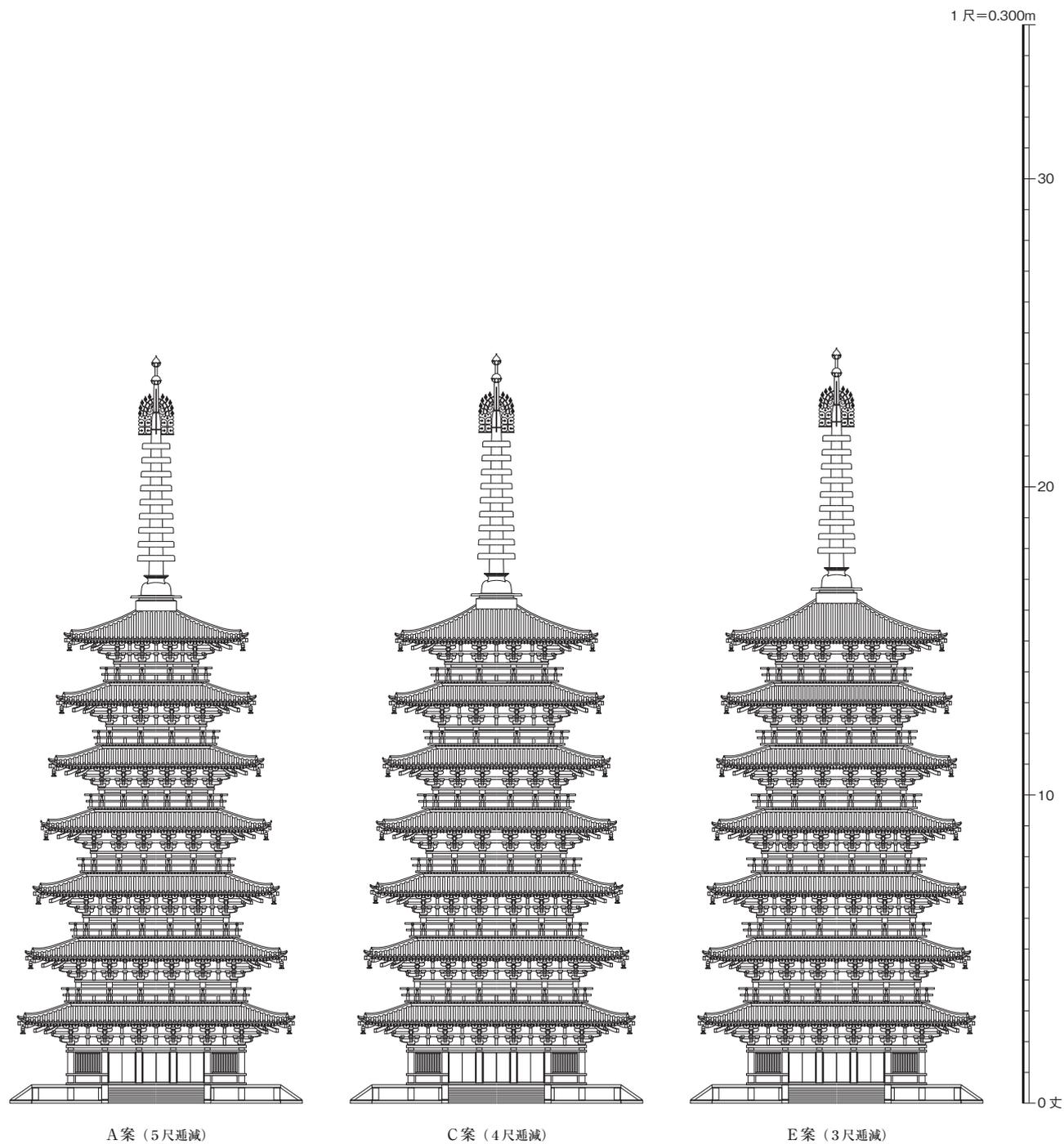


第20図 天沼案関連資料「東大寺西七重塔模型設計図」 1:500 東大寺所蔵

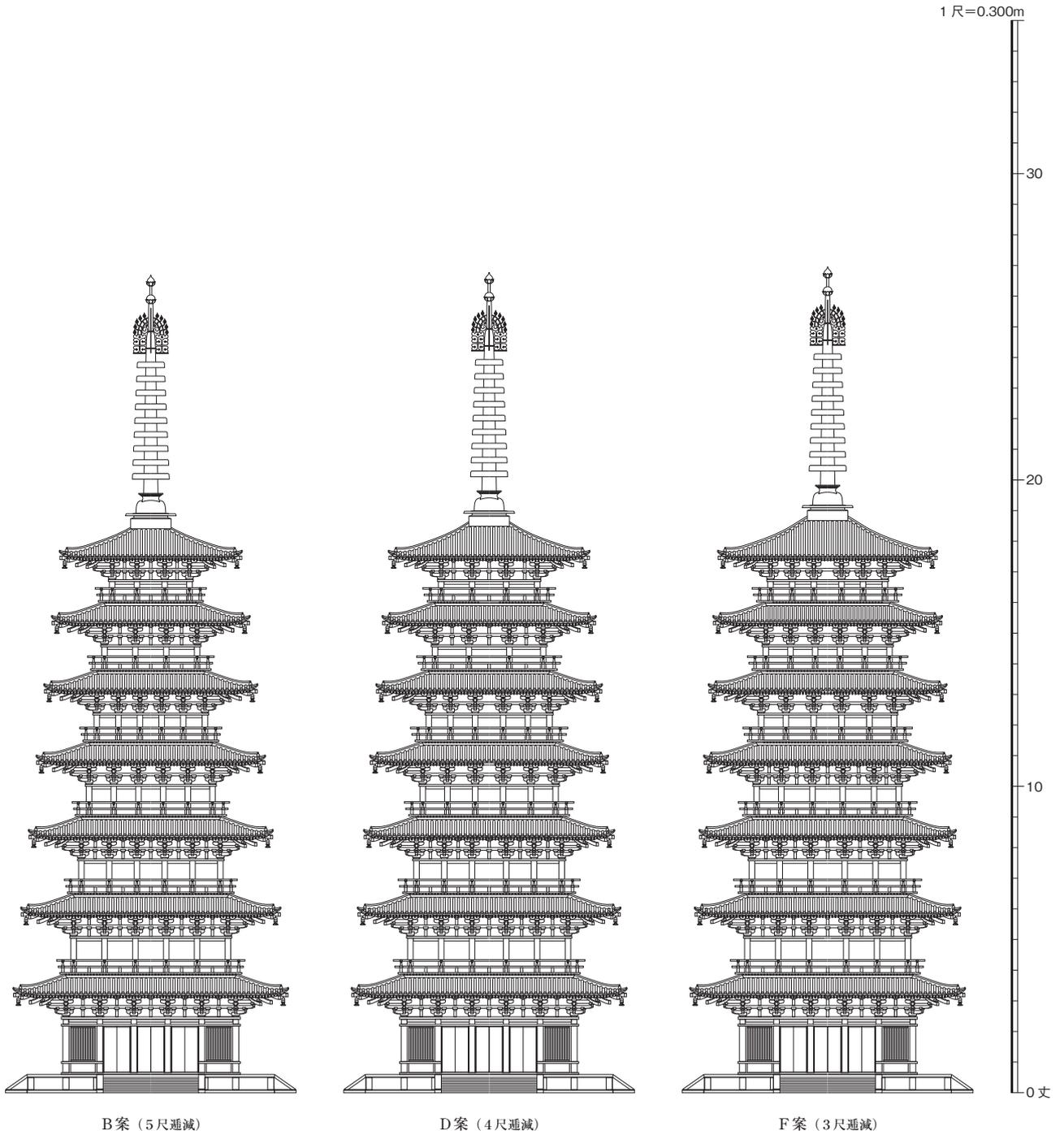


第21図 天沼案関連資料「東大寺東塔及西塔計画図」 1 : 500 奈良県所蔵

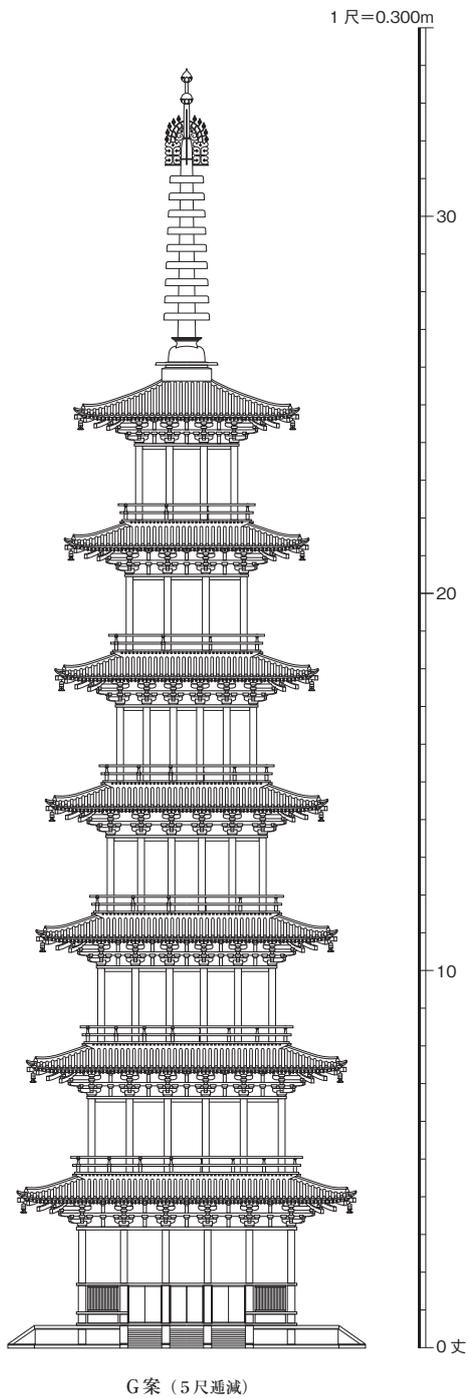
既往の復元案(3)

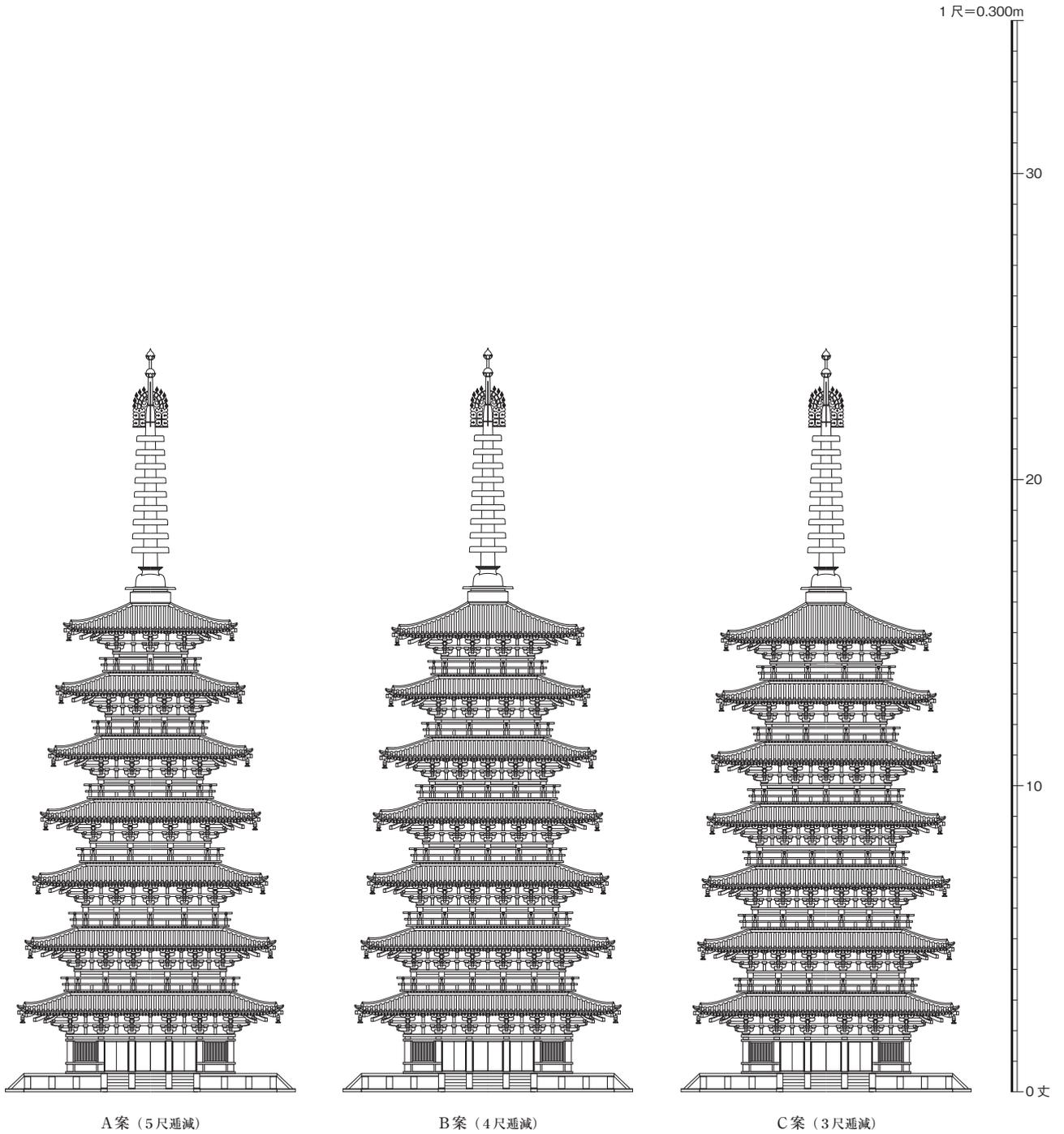


第22図 2016年9月案 A・C・E案(全高23丈余り) 1:600 東大寺所蔵

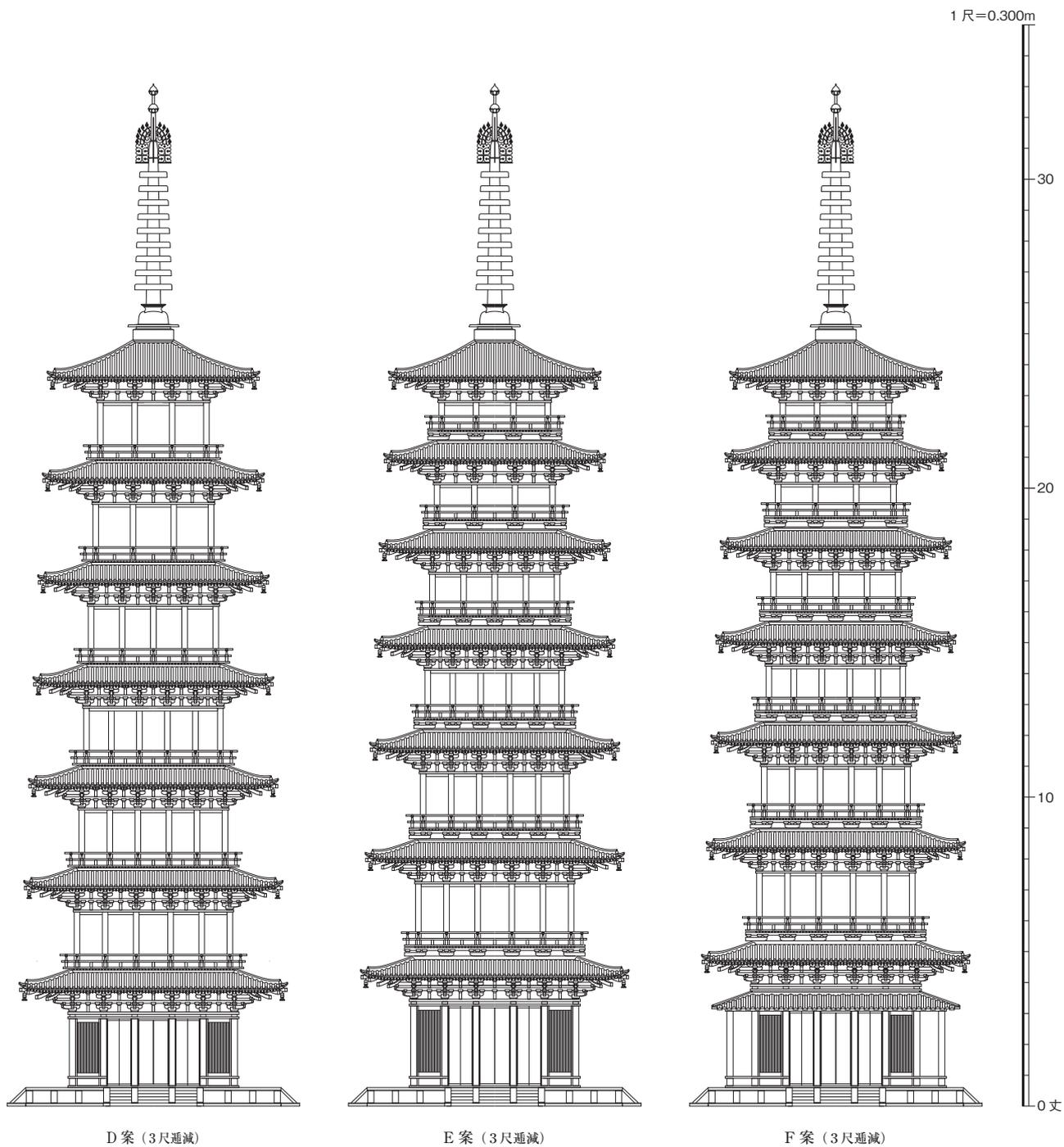


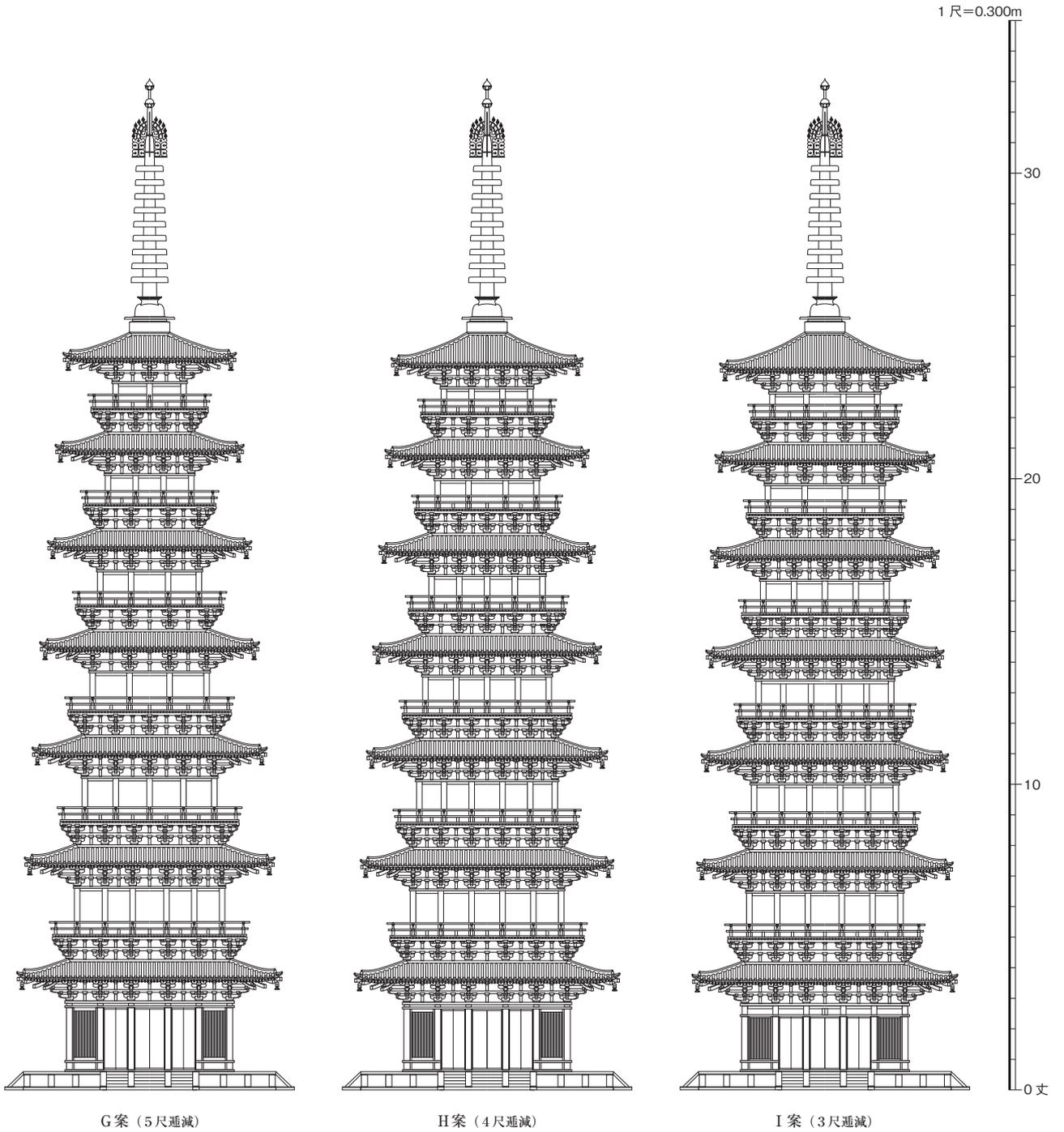
第23図 2016年9月案 B・D・F案(A案塔身高×1.3+相輪高) 1:600 東大寺所蔵



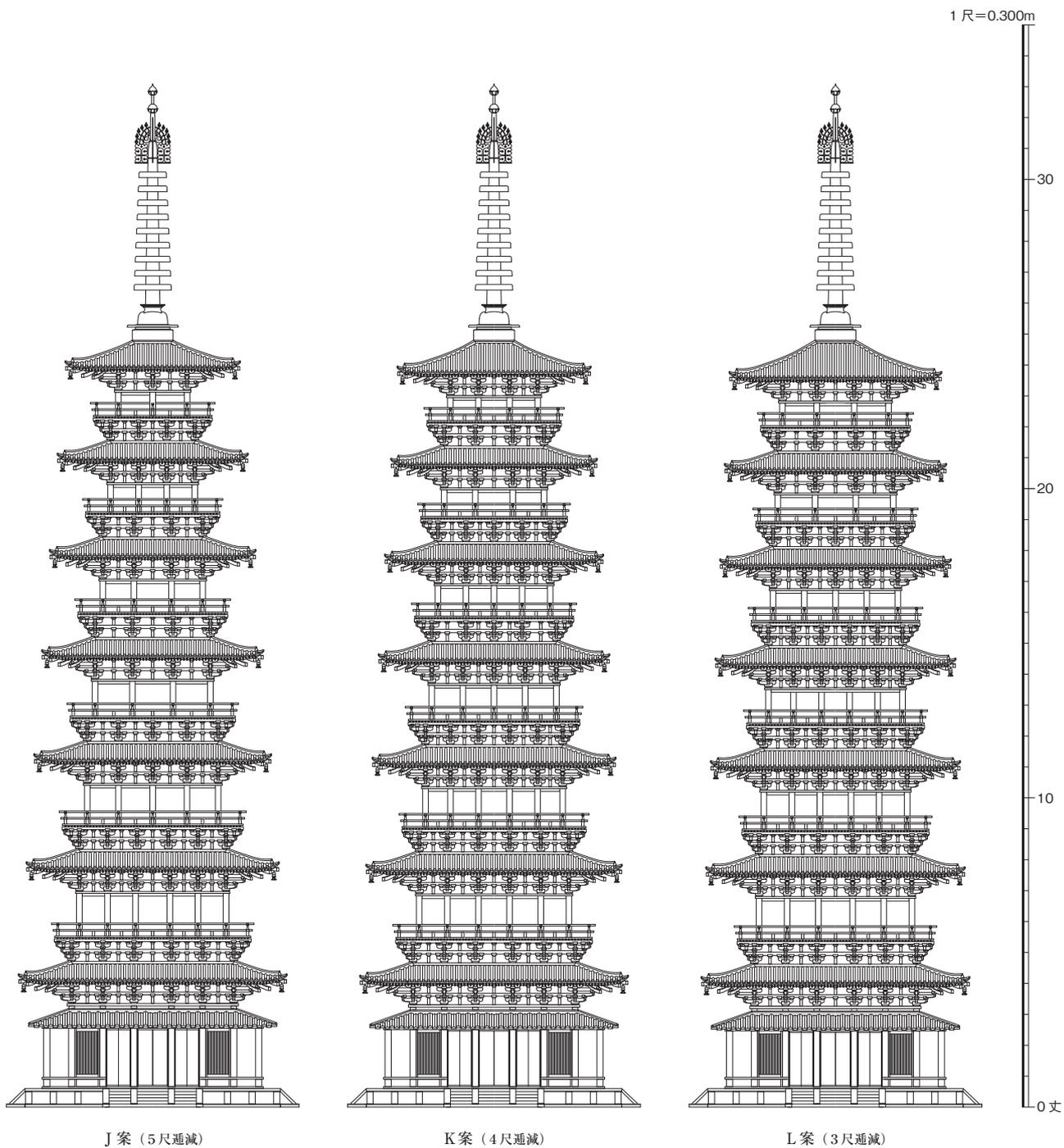


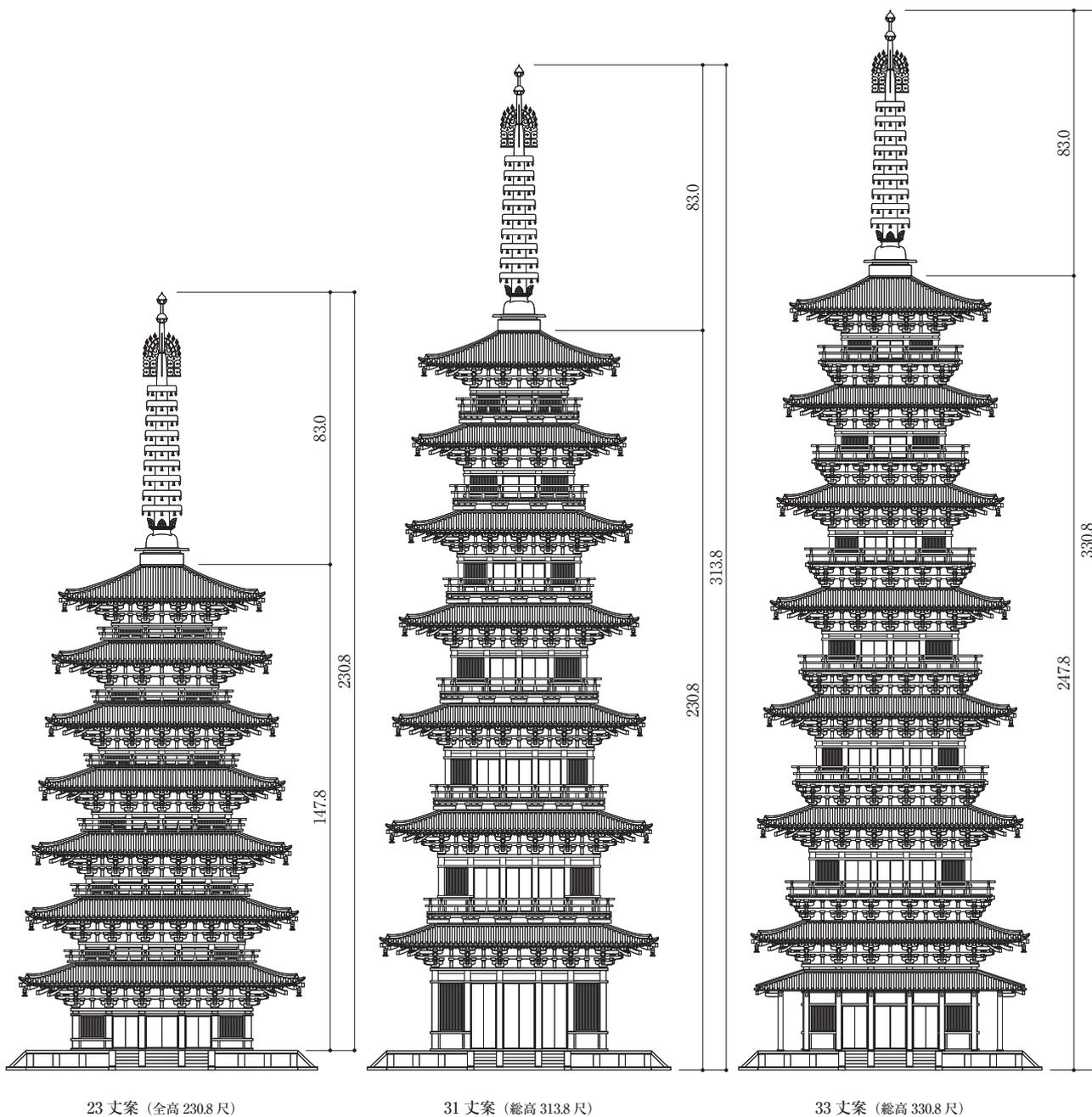
第25図 2016年11月案 A~C案(全高23丈余り) 1:600 東大寺所蔵





第27図 2016年11月案 G～I案(総高33丈余り) 1:600 東大寺所蔵





23 丈案 (全高 230.8 尺)

31 丈案 (総高 313.8 尺)

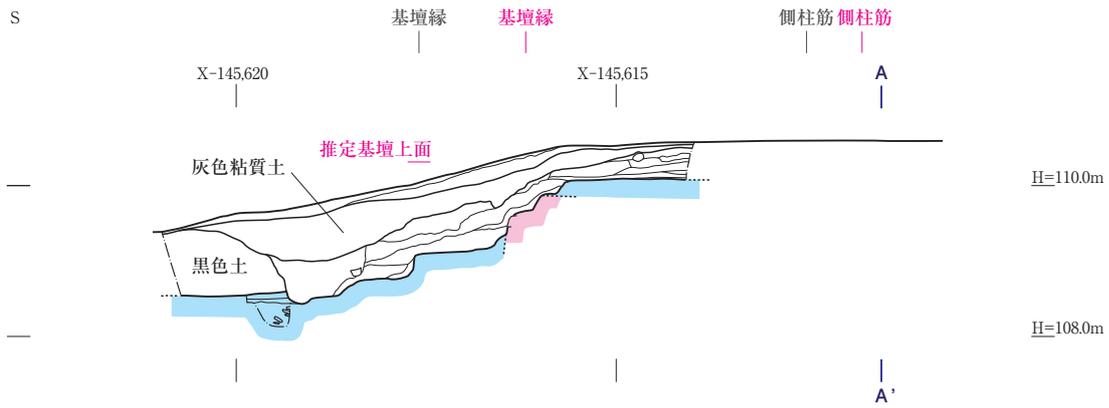
33 丈案 (総高 330.8 尺)

第29図 2016年報道発表案 シルエットのもとになった立面図 1:600 東大寺所蔵

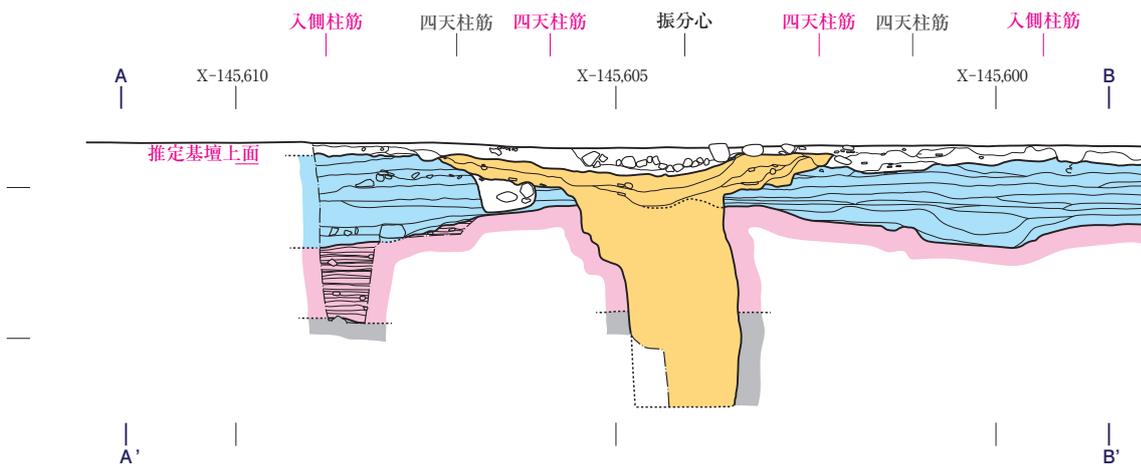


第30図 2016年報道発表案 33丈案 復元透視図(北野陽子描画) 東大寺所蔵

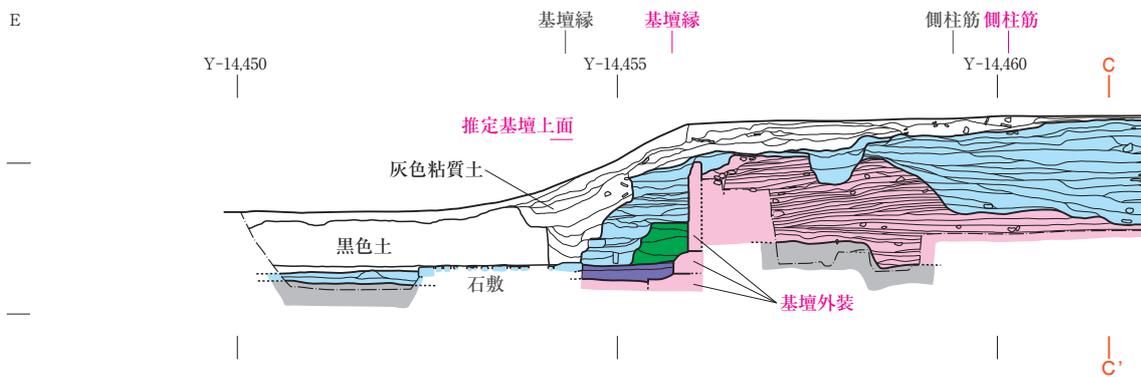




▲4区南北畔

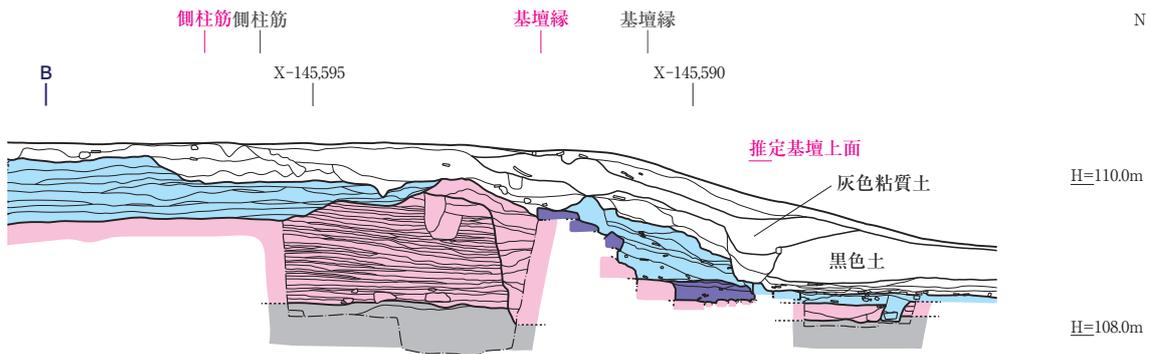
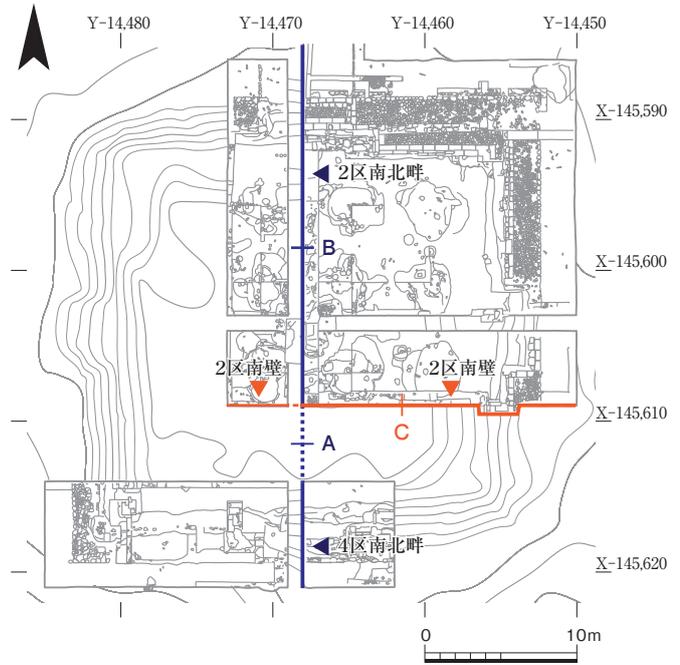


▲2区南北畔

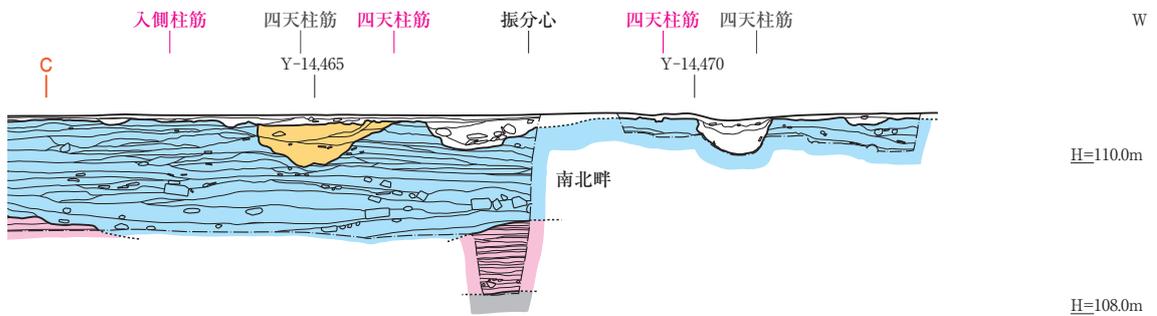


▲2区南壁

- 赤字 天平塔
- 黒字 鎌倉塔
- 心礎・礎石抜取穴
- 鎌倉時代
- 治承4年の焼土
- 平安時代
- 奈良時代
- 地山



▲ 2区南北畔



▲ 2区南壁





第32図 「絹本著色東大寺縁起」伽藍幅 東大寺所蔵

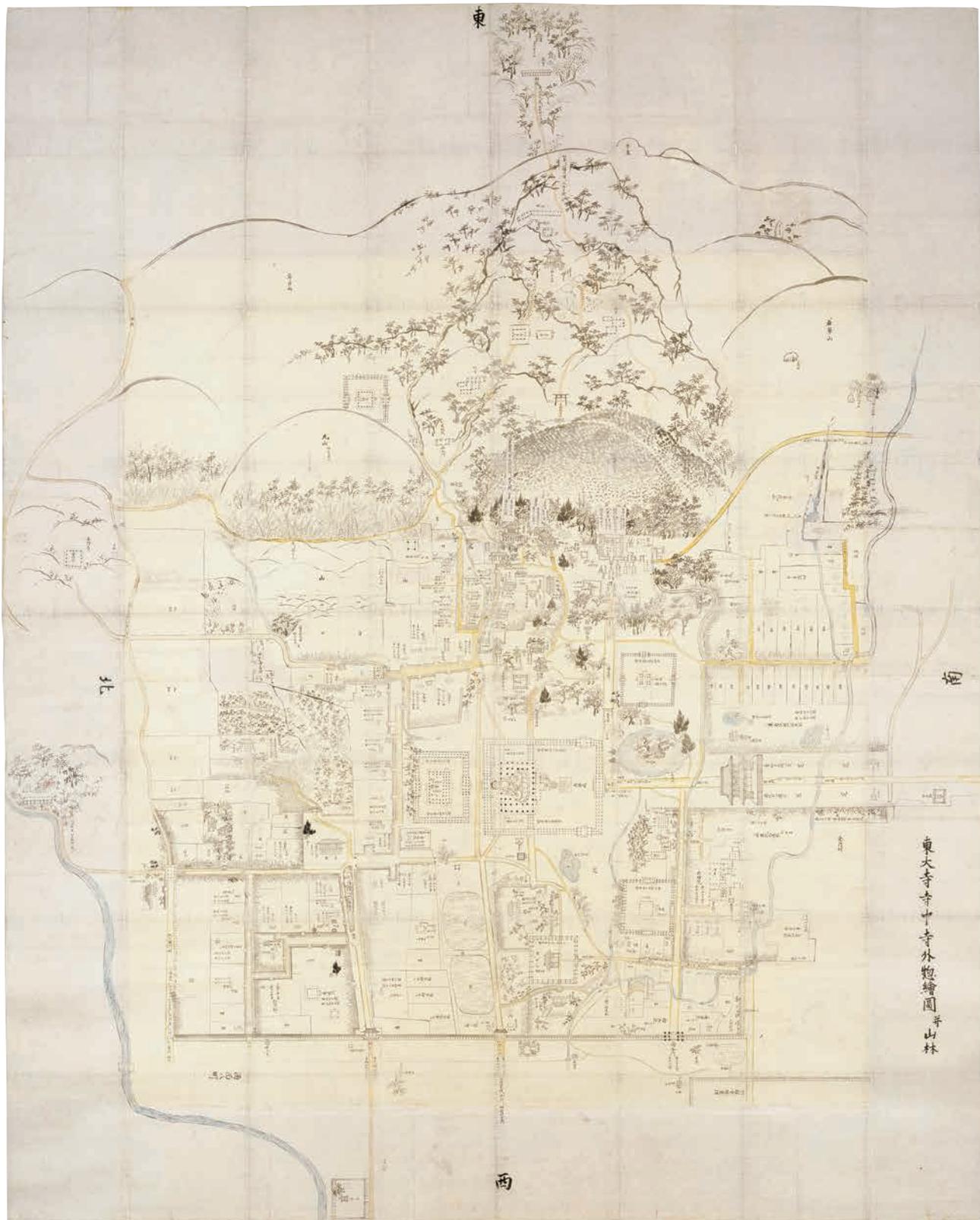


西塔部分



東塔部分

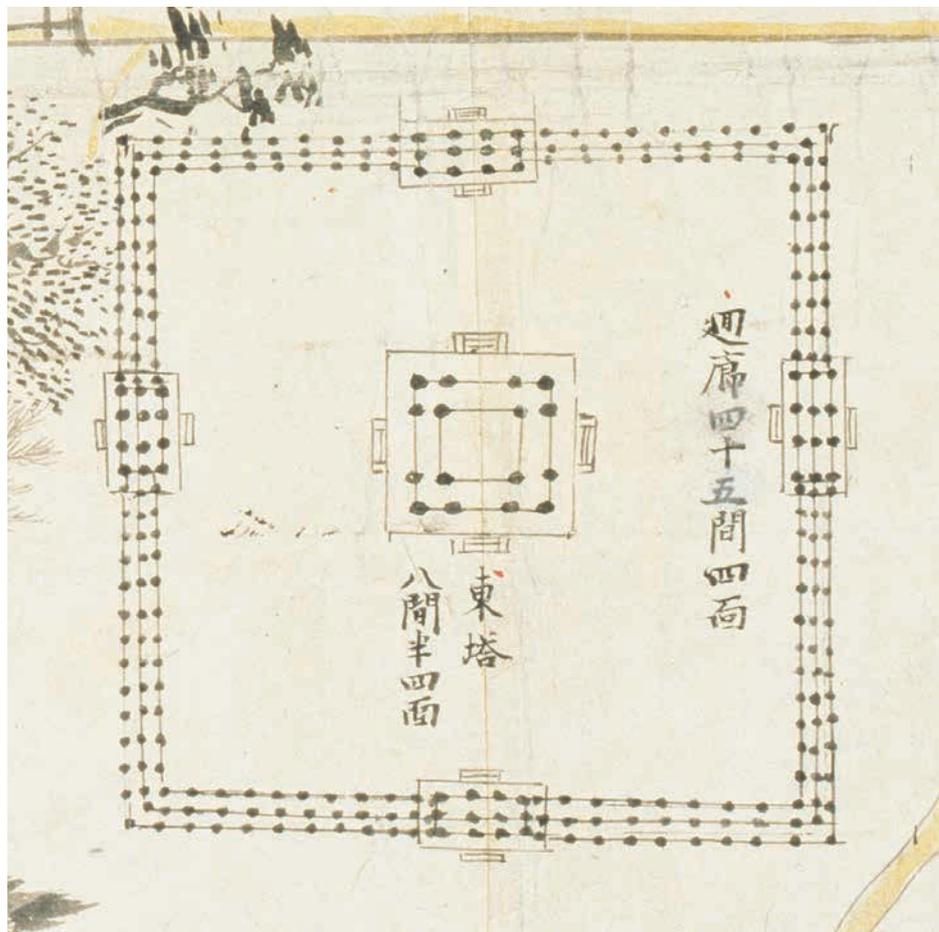
第33図 「絹本著色東大寺縁起」伽藍幅(東西塔部分) 東大寺所藏



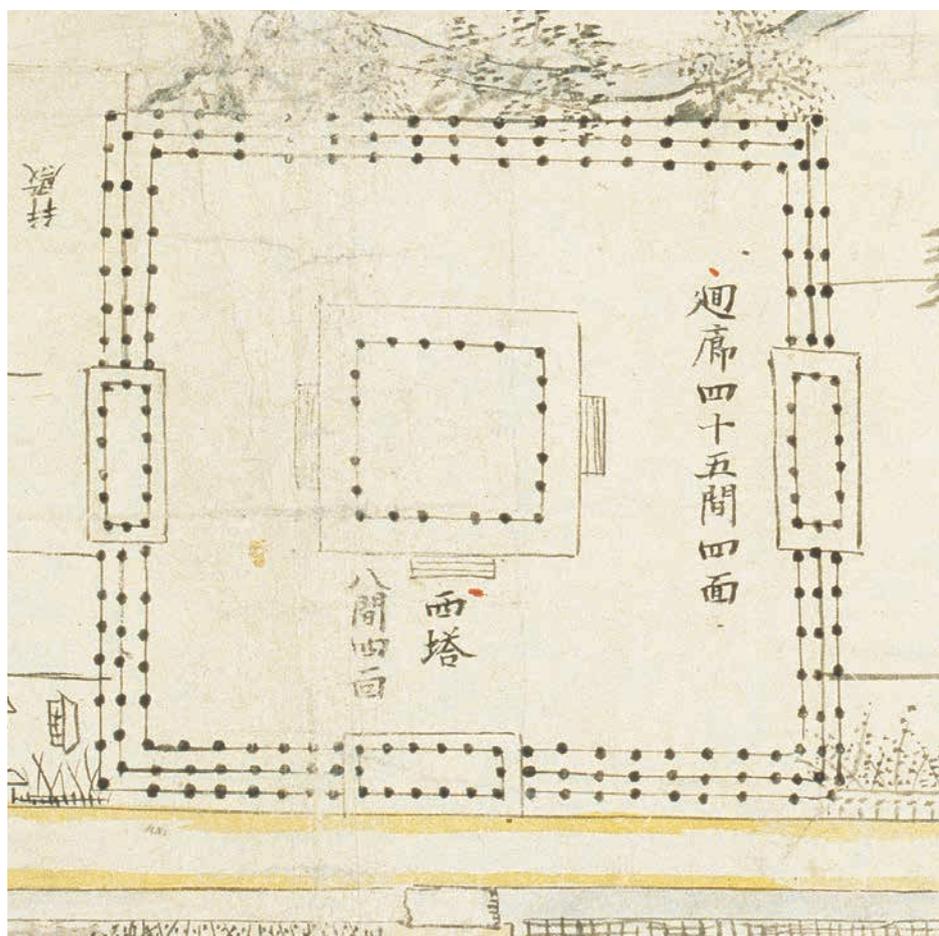
第34図 「東大寺中寺外惣絵図并山林」 東大寺所蔵



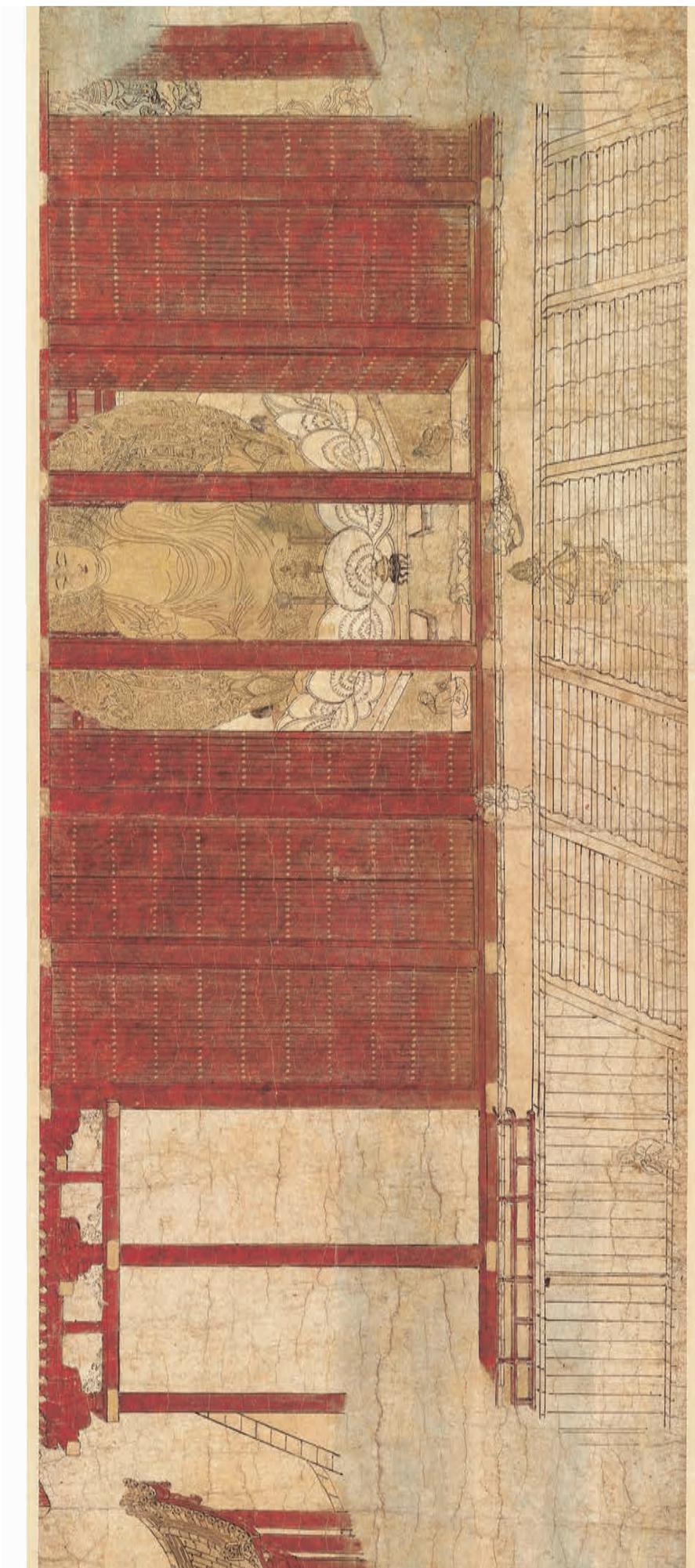
第35圖 「東大寺寺中寺外惣絵図并山林」(伽藍中心部分) 東大寺所藏



東塔部分



西塔部分



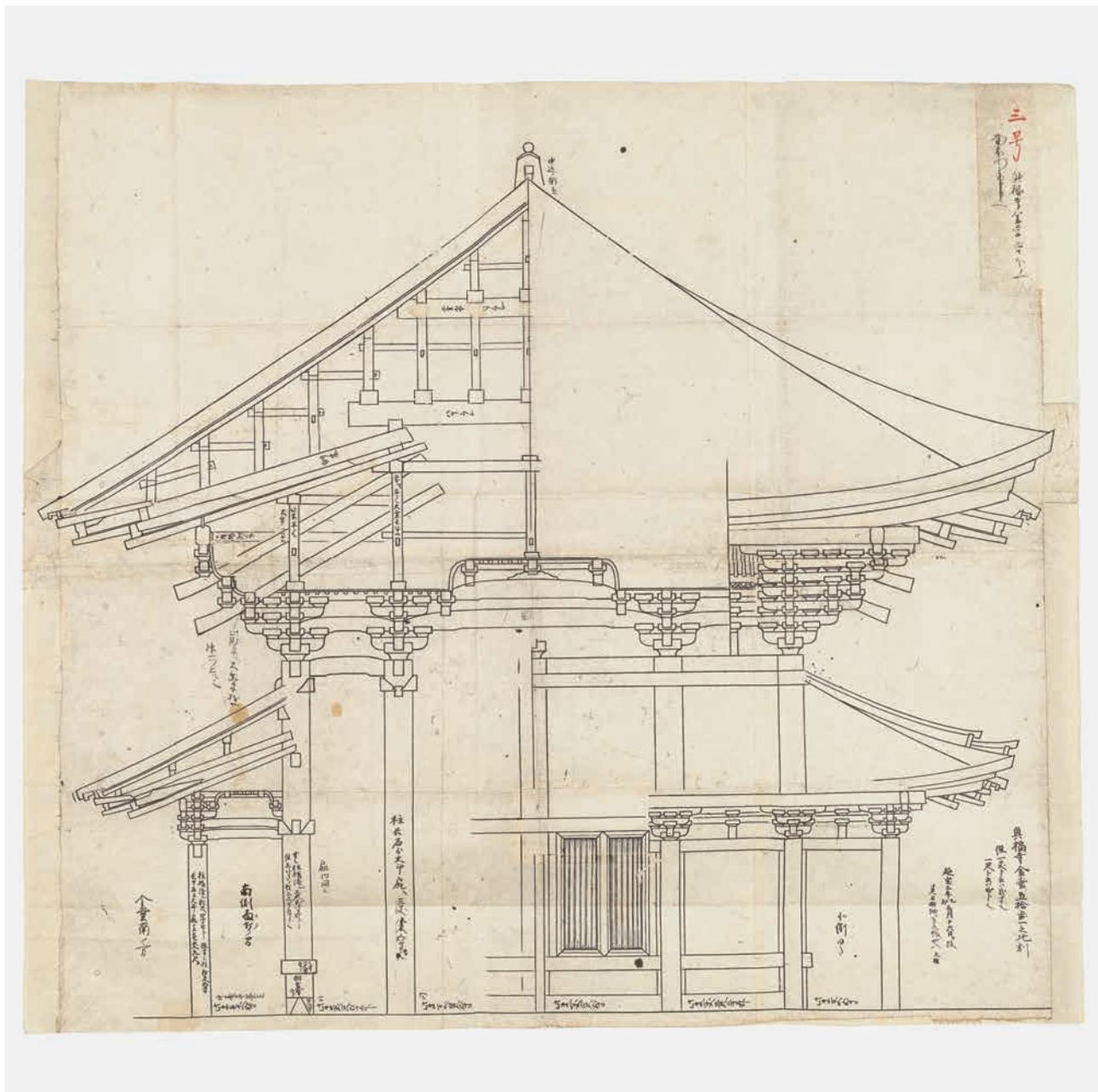
第37図 『紙本著色信貴山縁起』尼公卷(東大寺大仏殿部分) 朝護孫子寺所藏



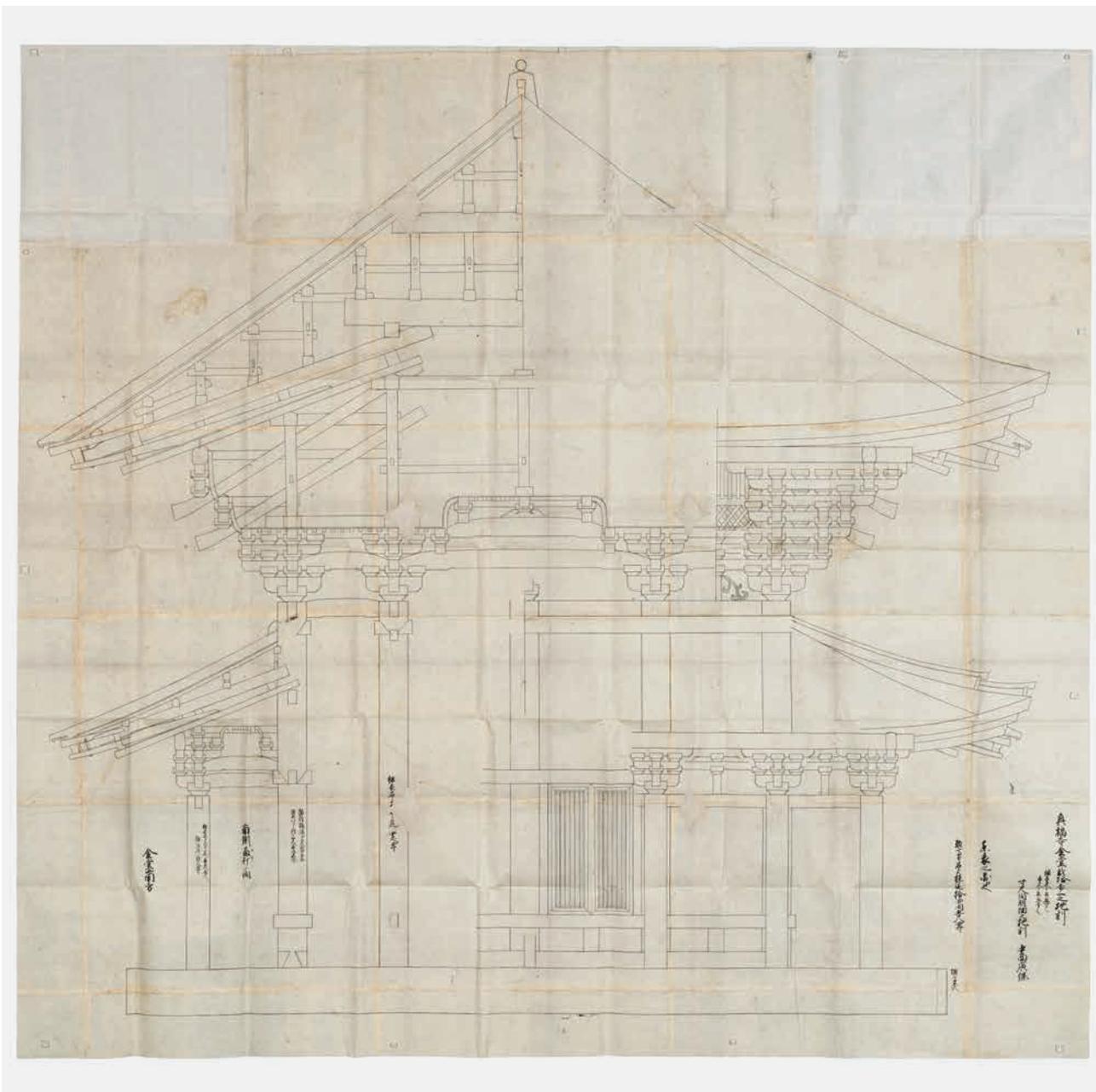
第38図 「絹本着色行基菩薩行状絵伝」第三幅 家原寺所蔵  
著作権法上の例外を除く二次利用を禁ず



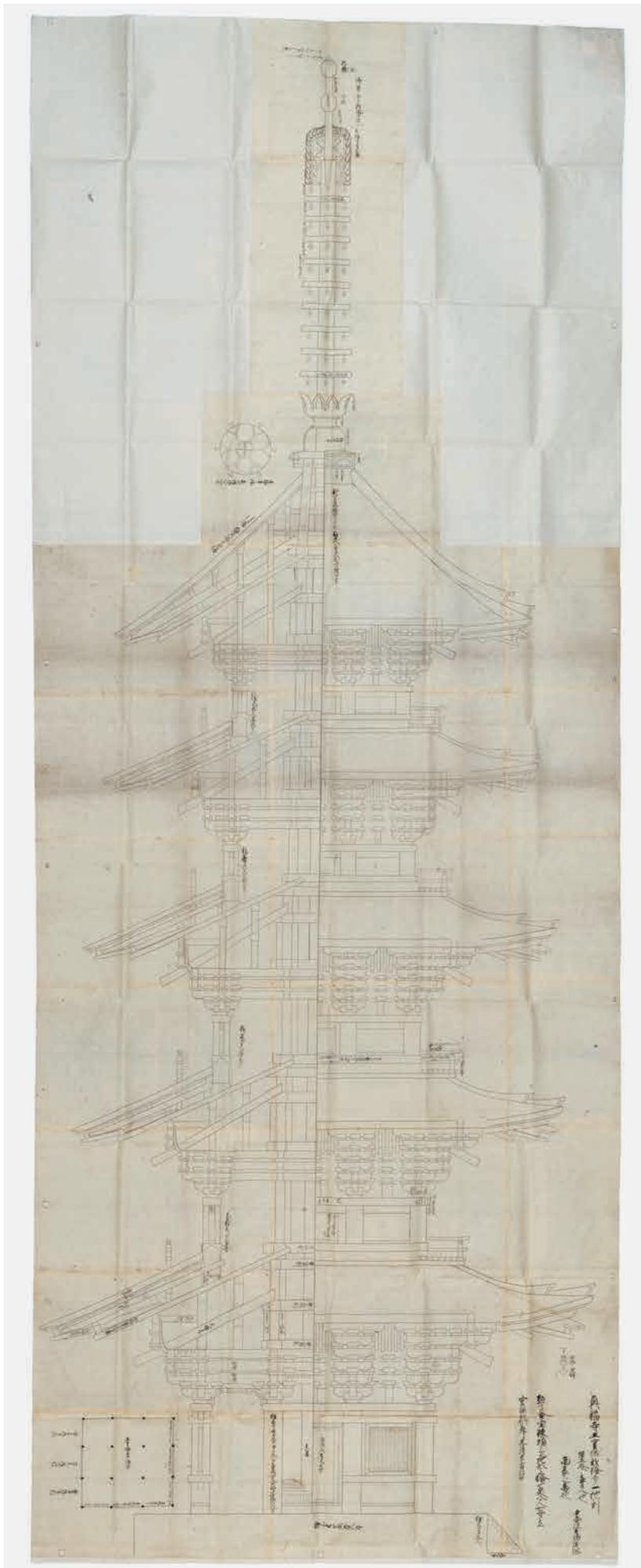
第39図 「絹本著色行基菩薩行状絵伝」第三幅(東大寺大仏殿部分) 家原寺所蔵  
著作権法上の例外を除く二次利用を禁ず



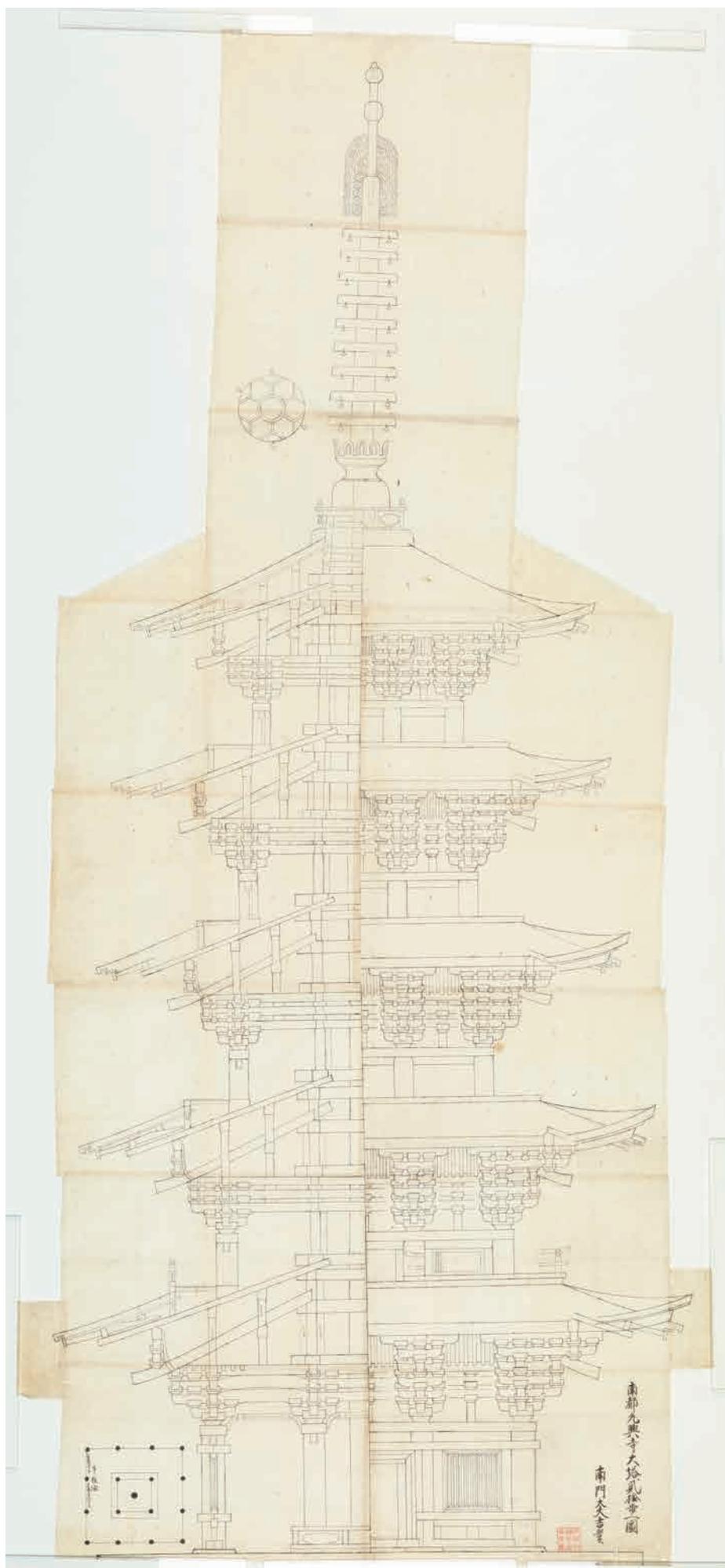
第40図 『興福寺建築諸図』「興福寺金堂五拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵



第41図 『興福寺建築諸図』「興福寺金堂式拾歩一之地割」 東京国立博物館所蔵



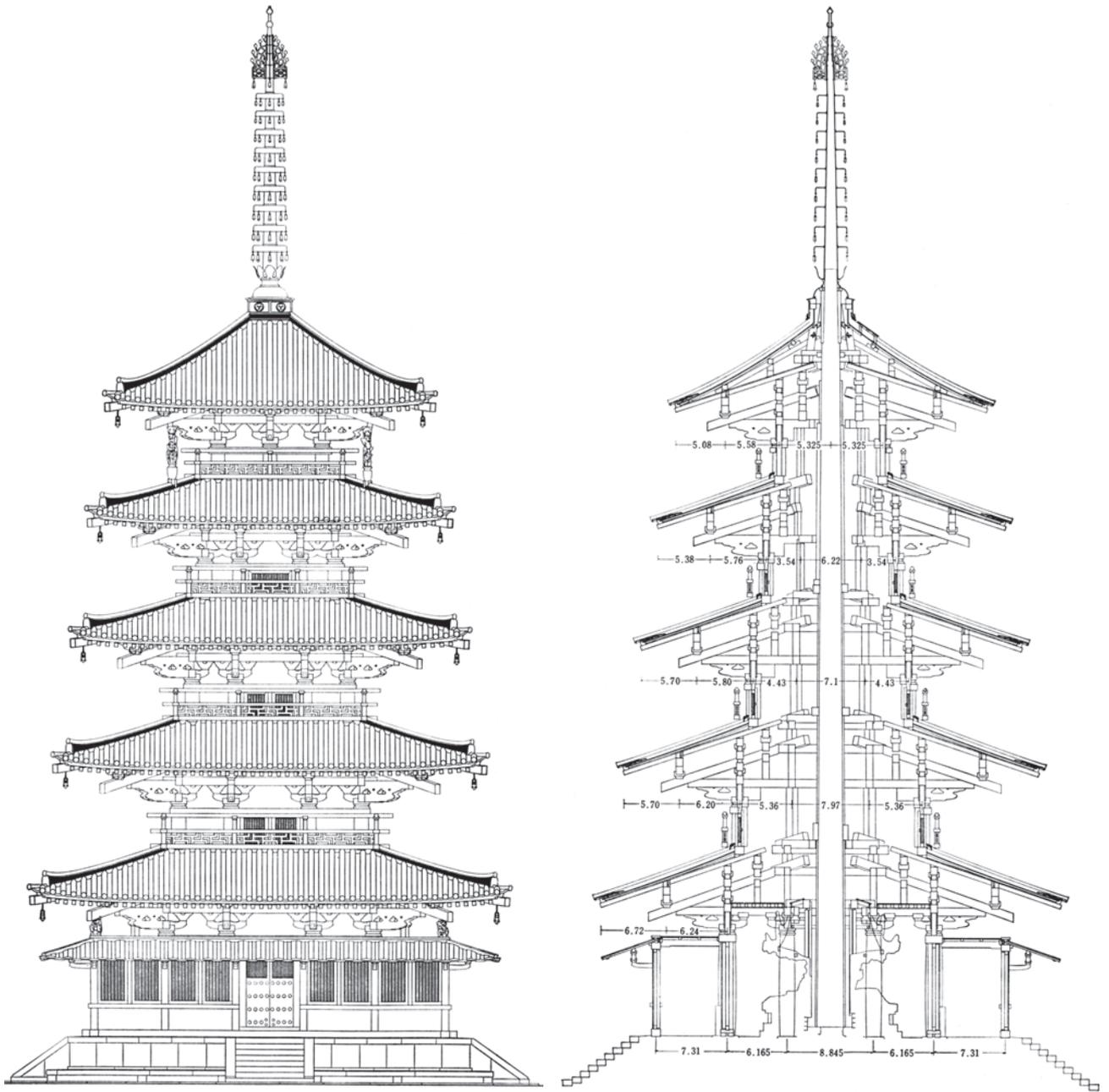
第42図 『興福寺建築諸図』「興福寺五重塔式拾歩一地割」 東京国立博物館所蔵



南都元興寺大塔式拾歩一圖  
南門文吉書

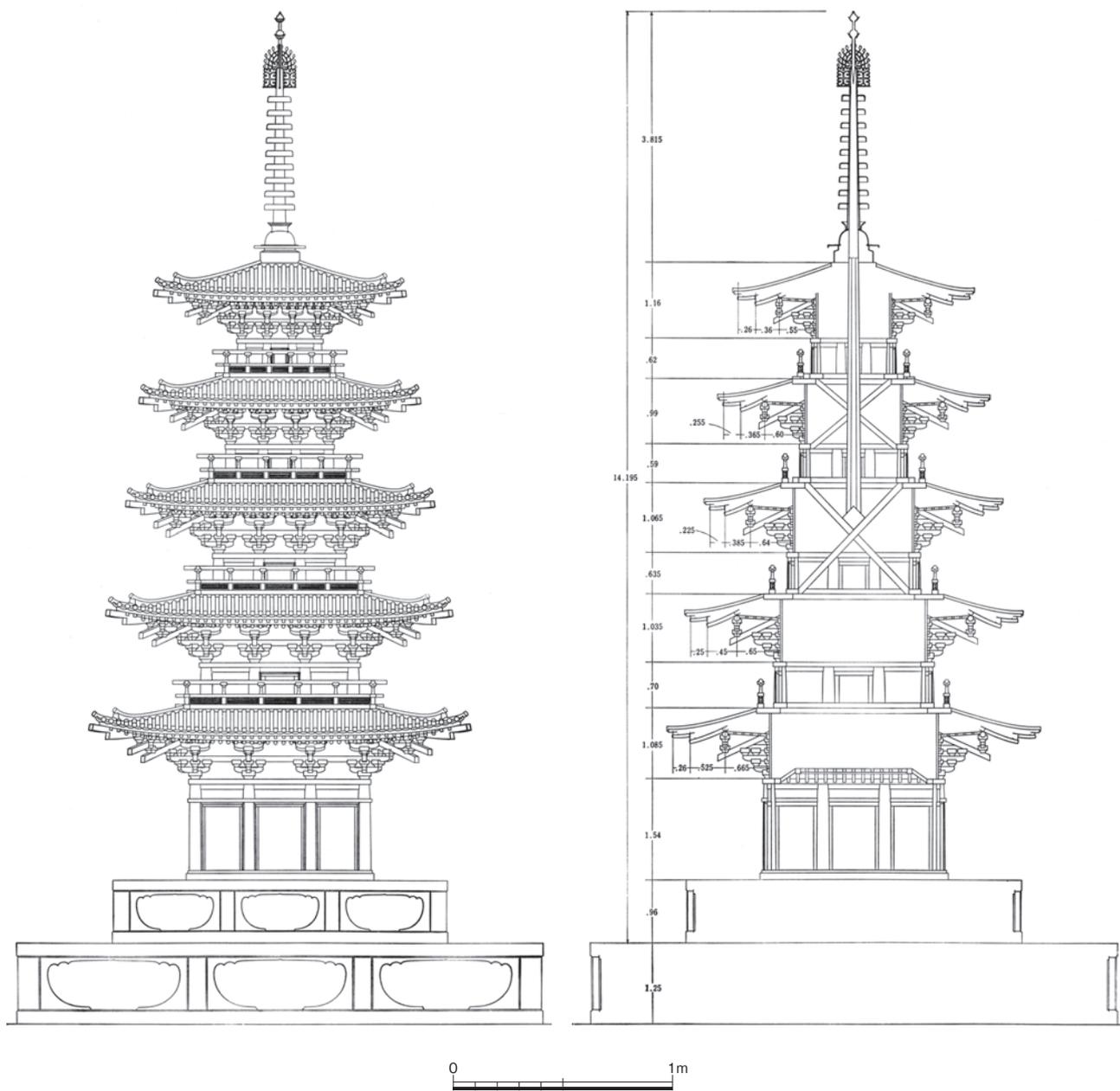
第43図 「南都元興寺大塔式拾歩一圖」 奈良県所蔵





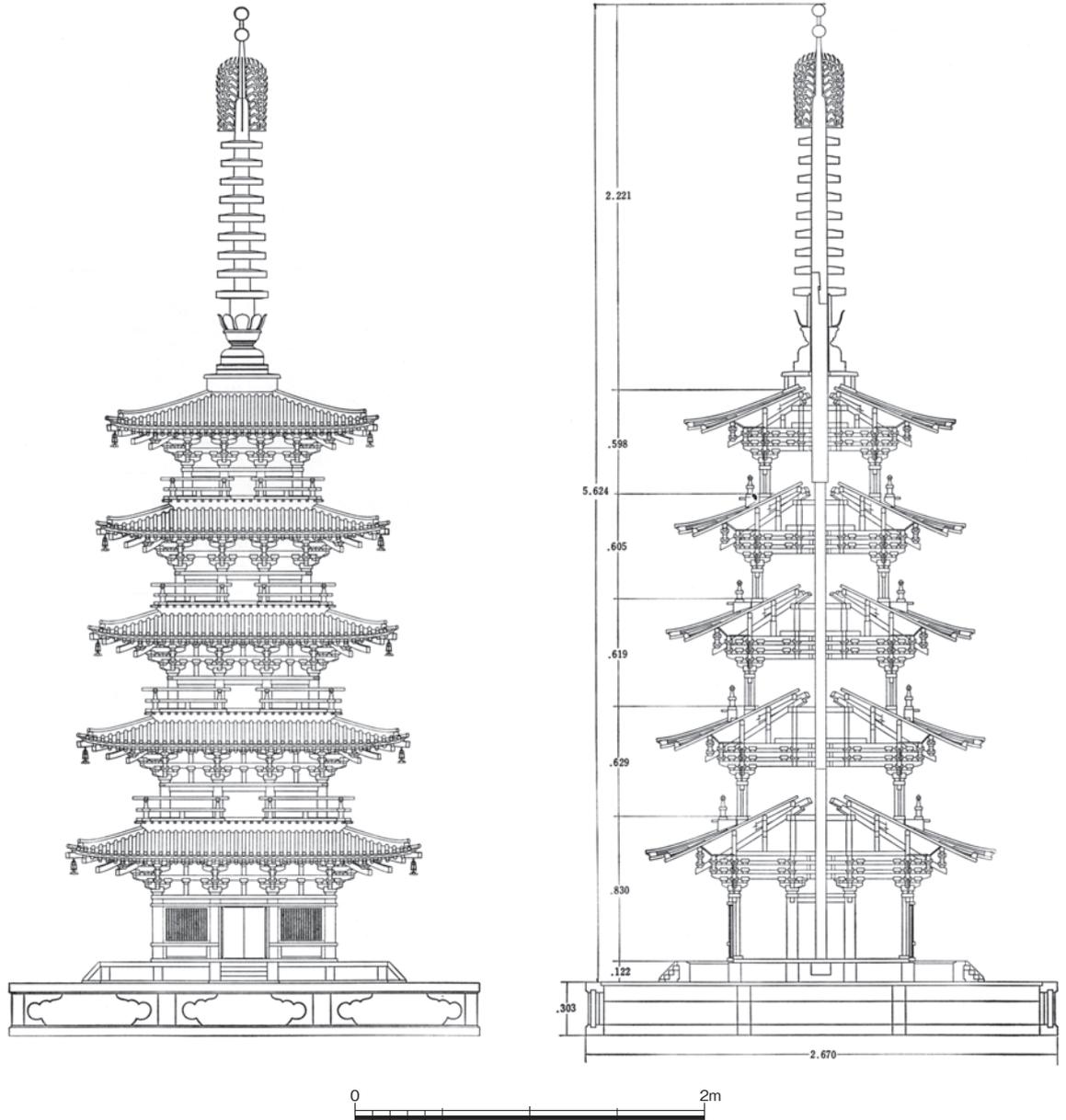
立面图

断面图



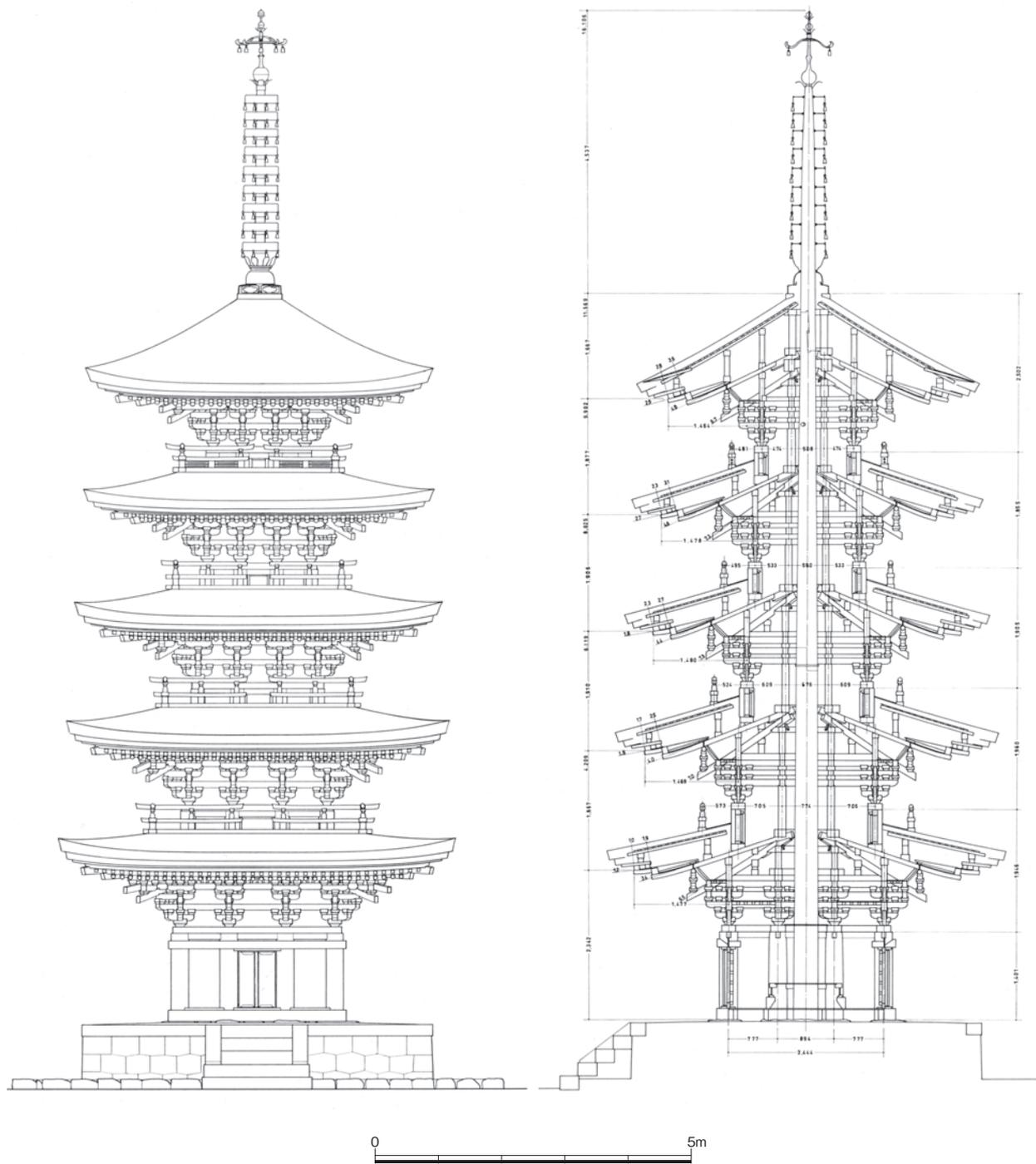
立面图

断面图



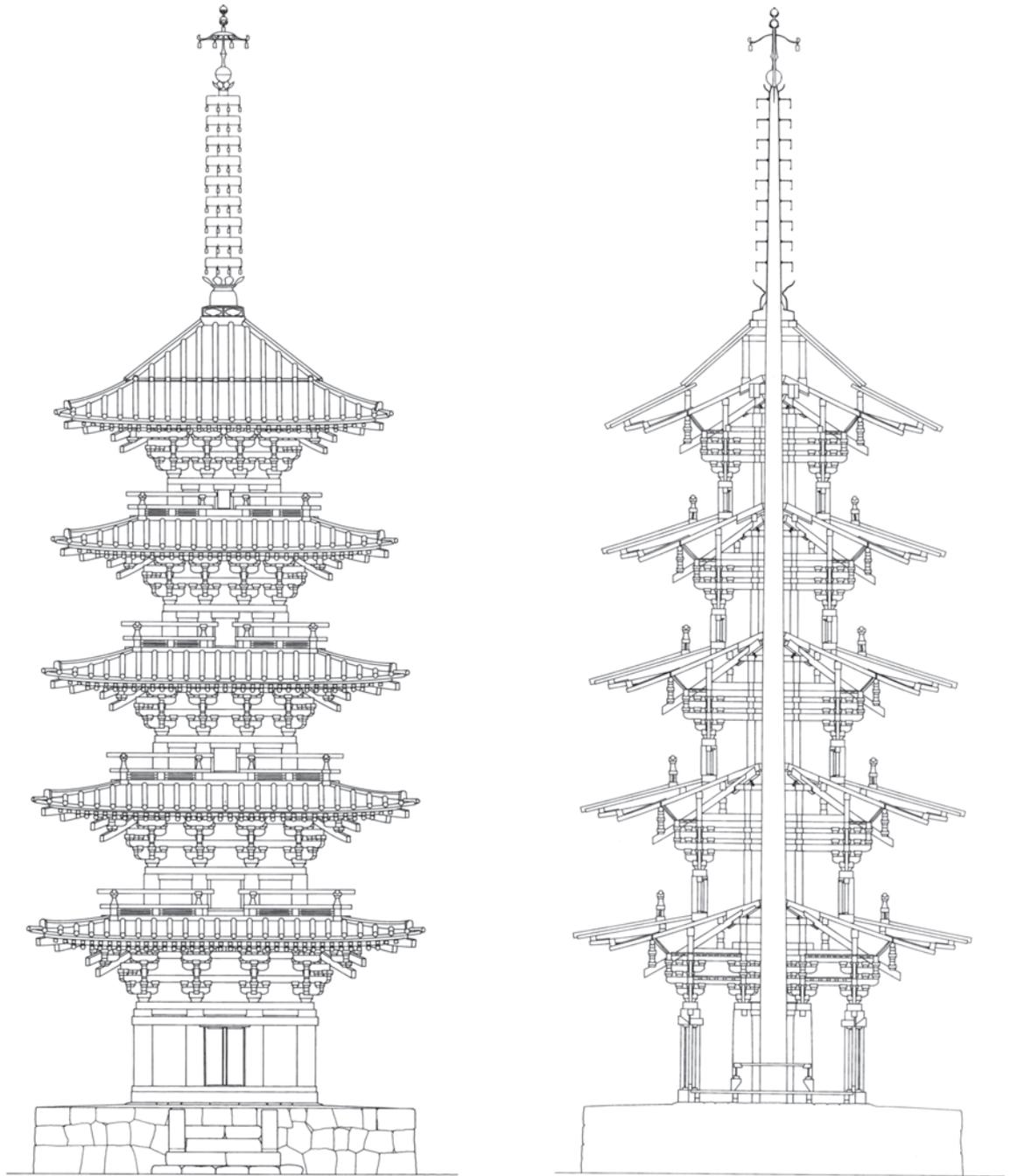
立面图

断面图



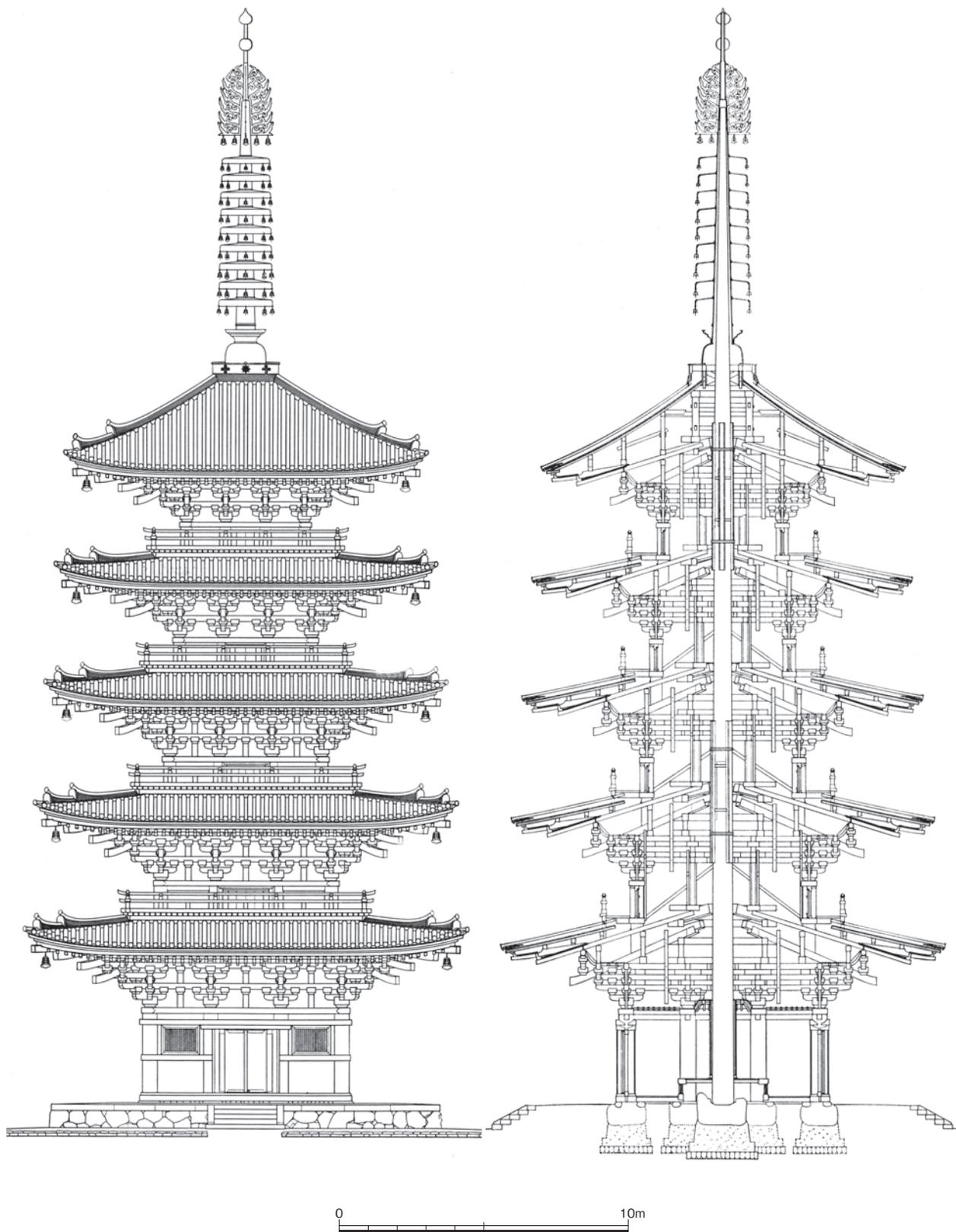
立面图

断面图



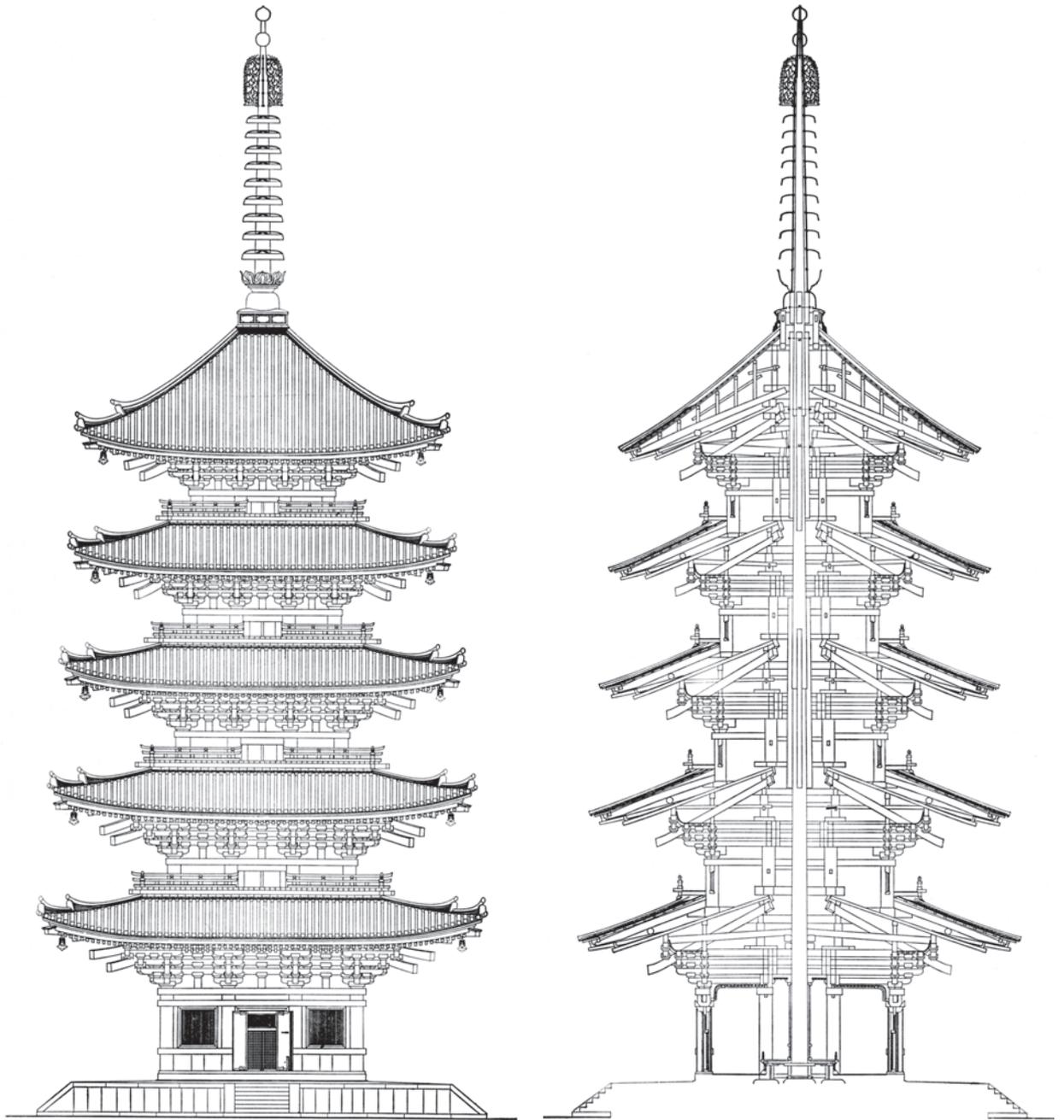
立面图

断面图



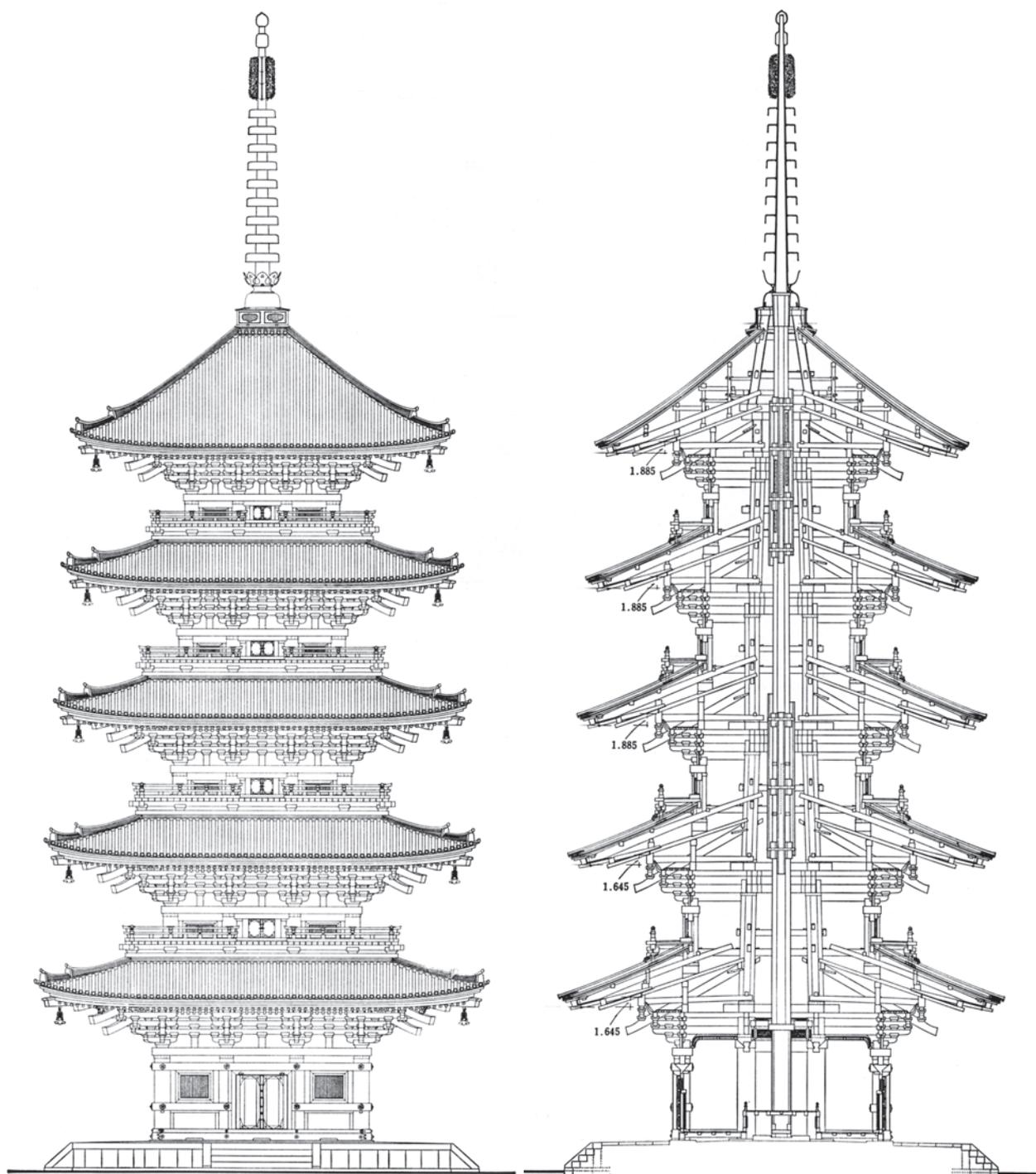
立面图

断面图



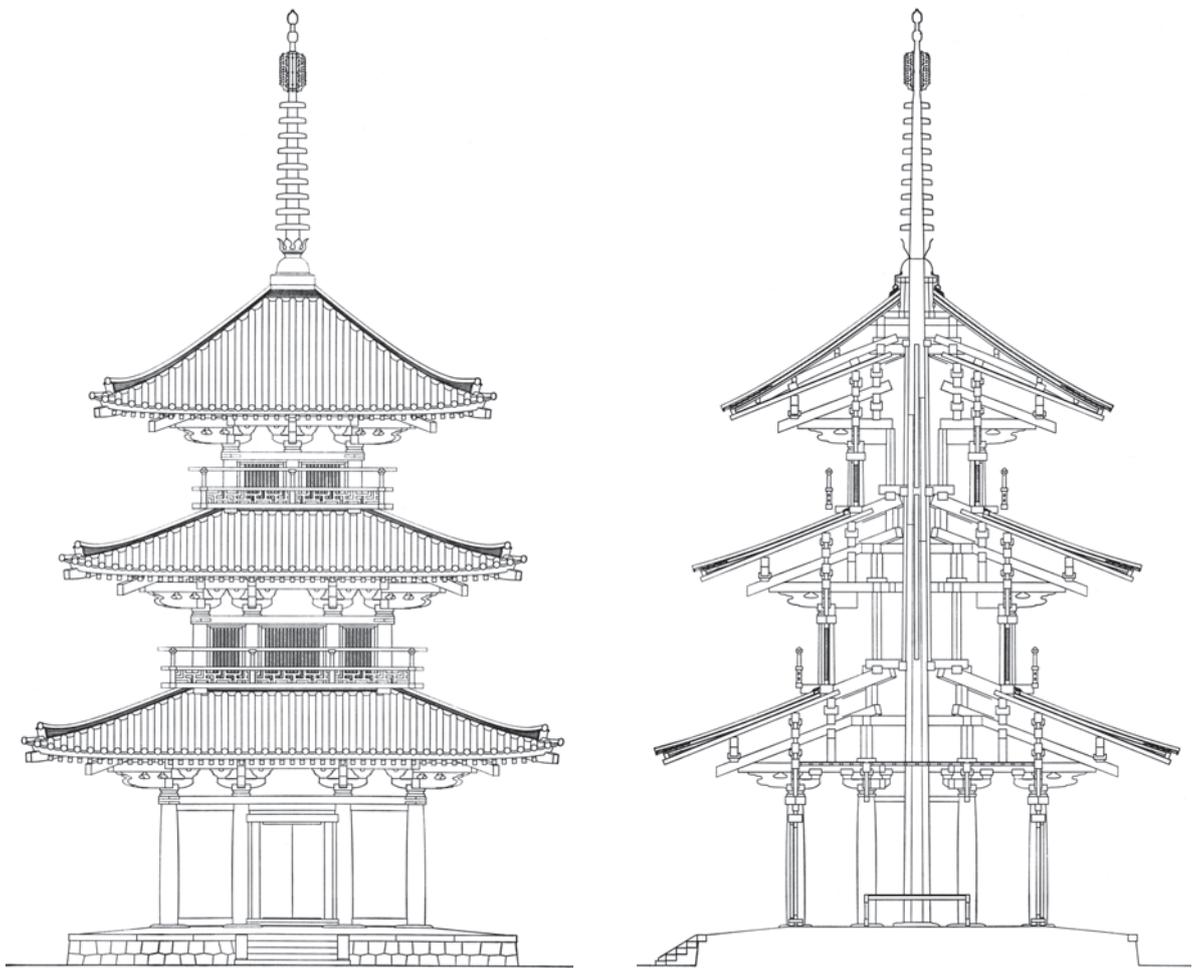
立面图

断面图



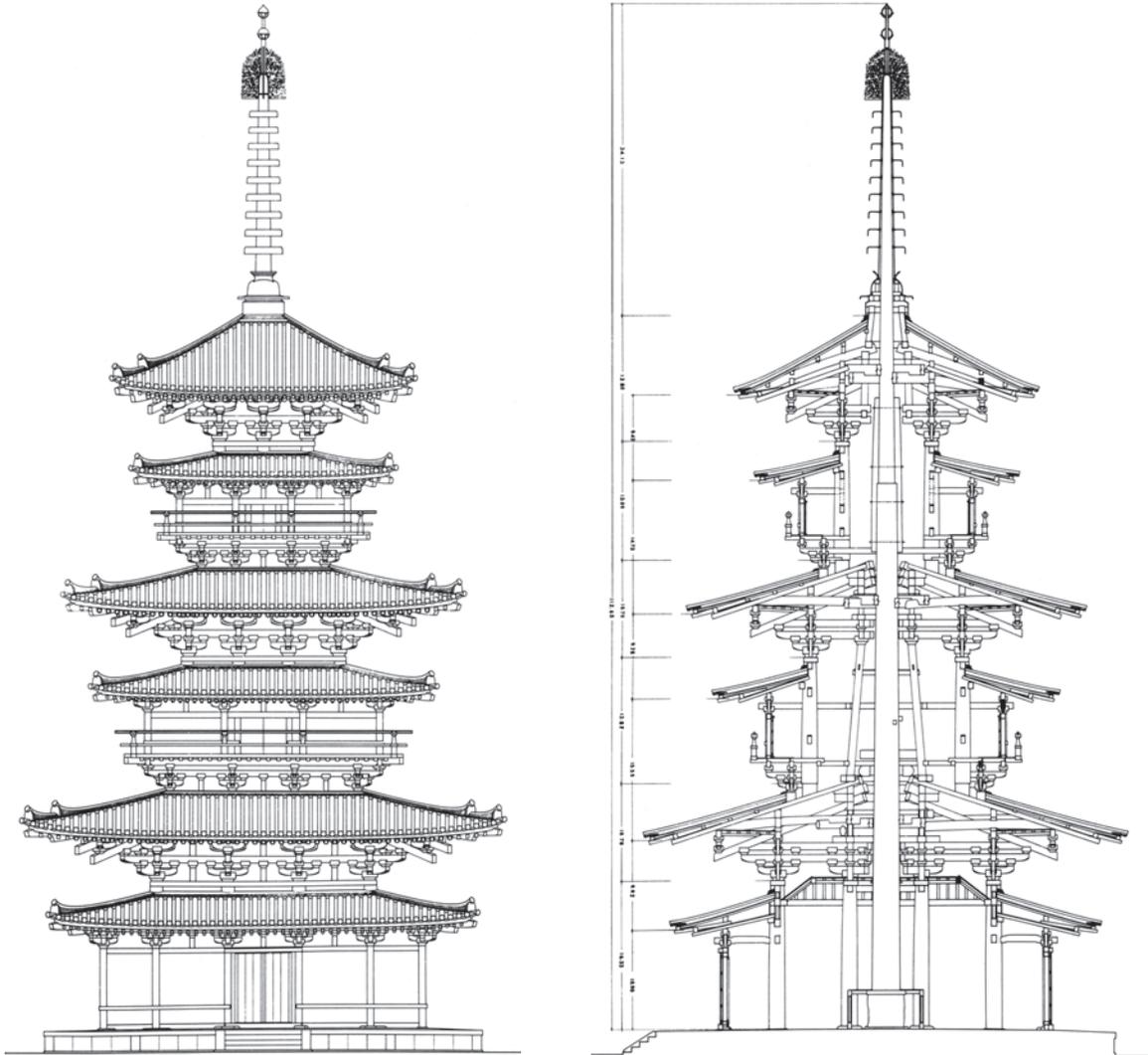
立面图

断面图



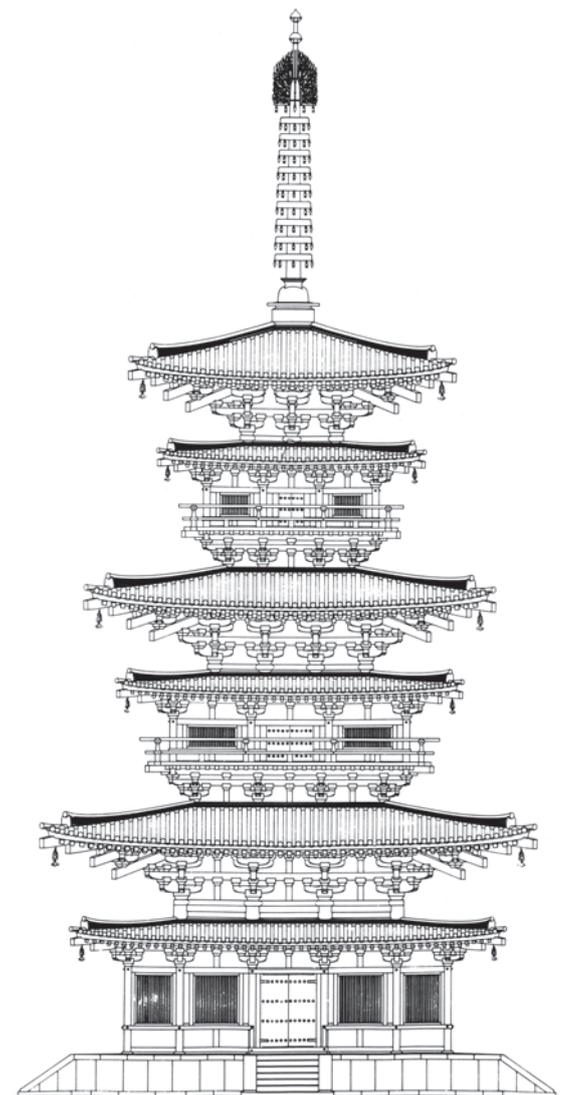
立面図

断面図

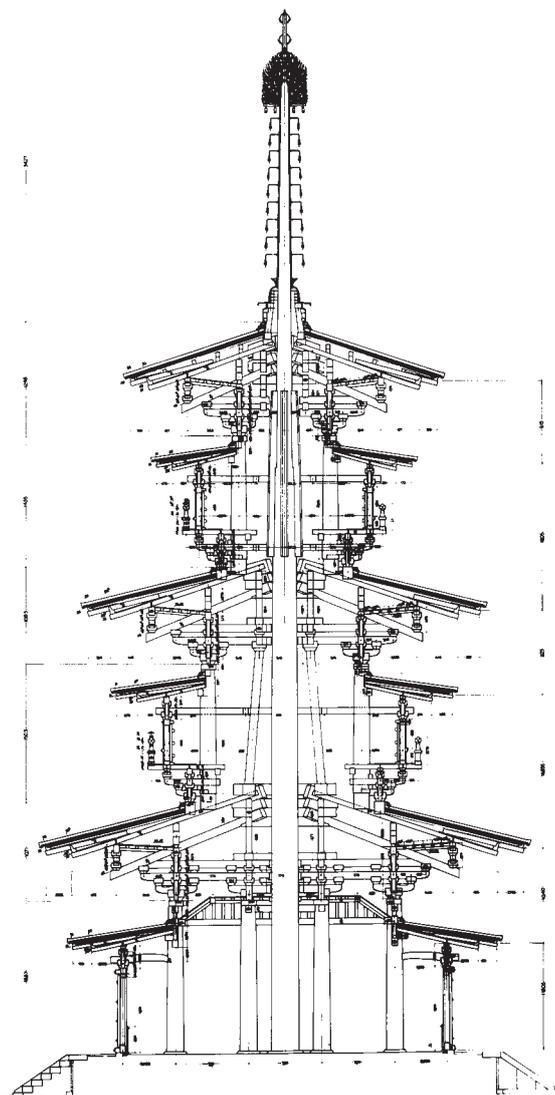


立面图

断面图

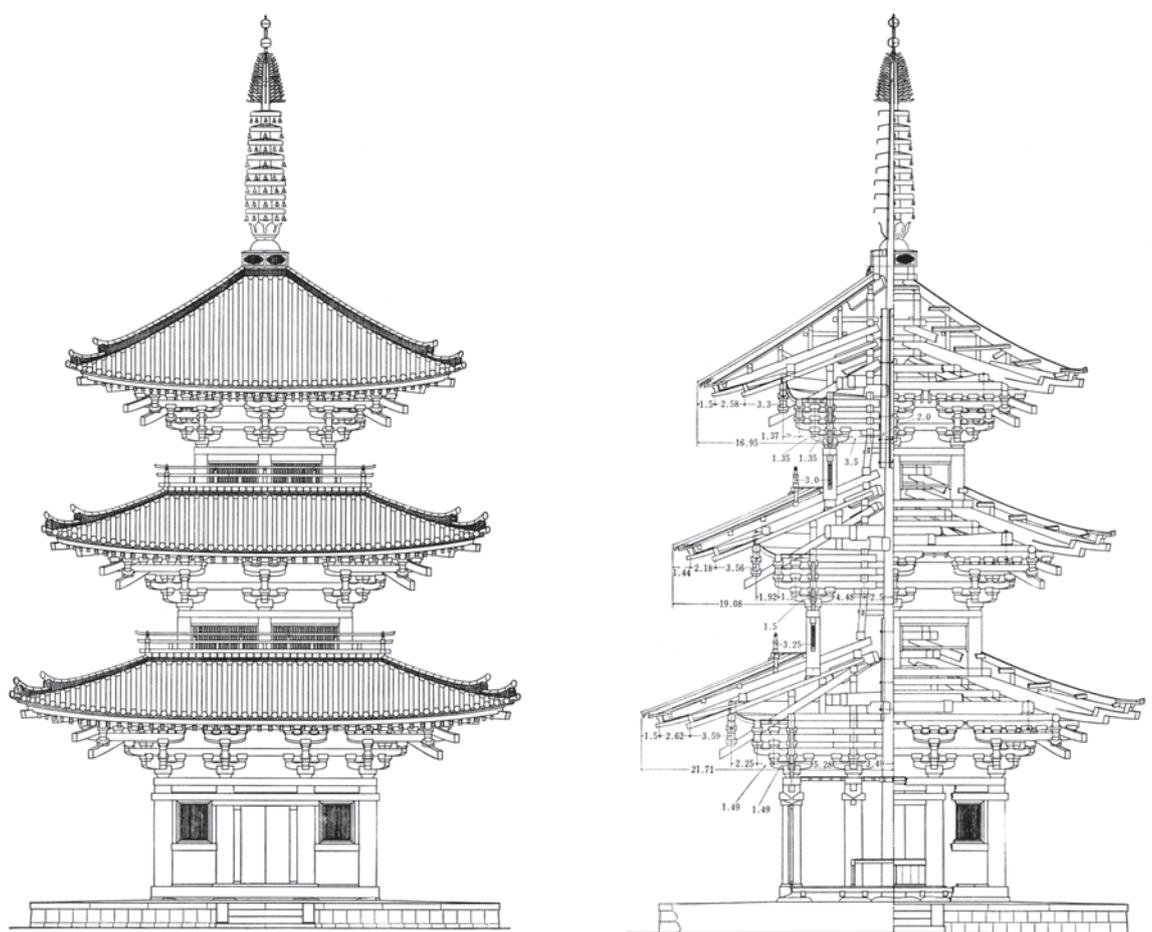


立面图



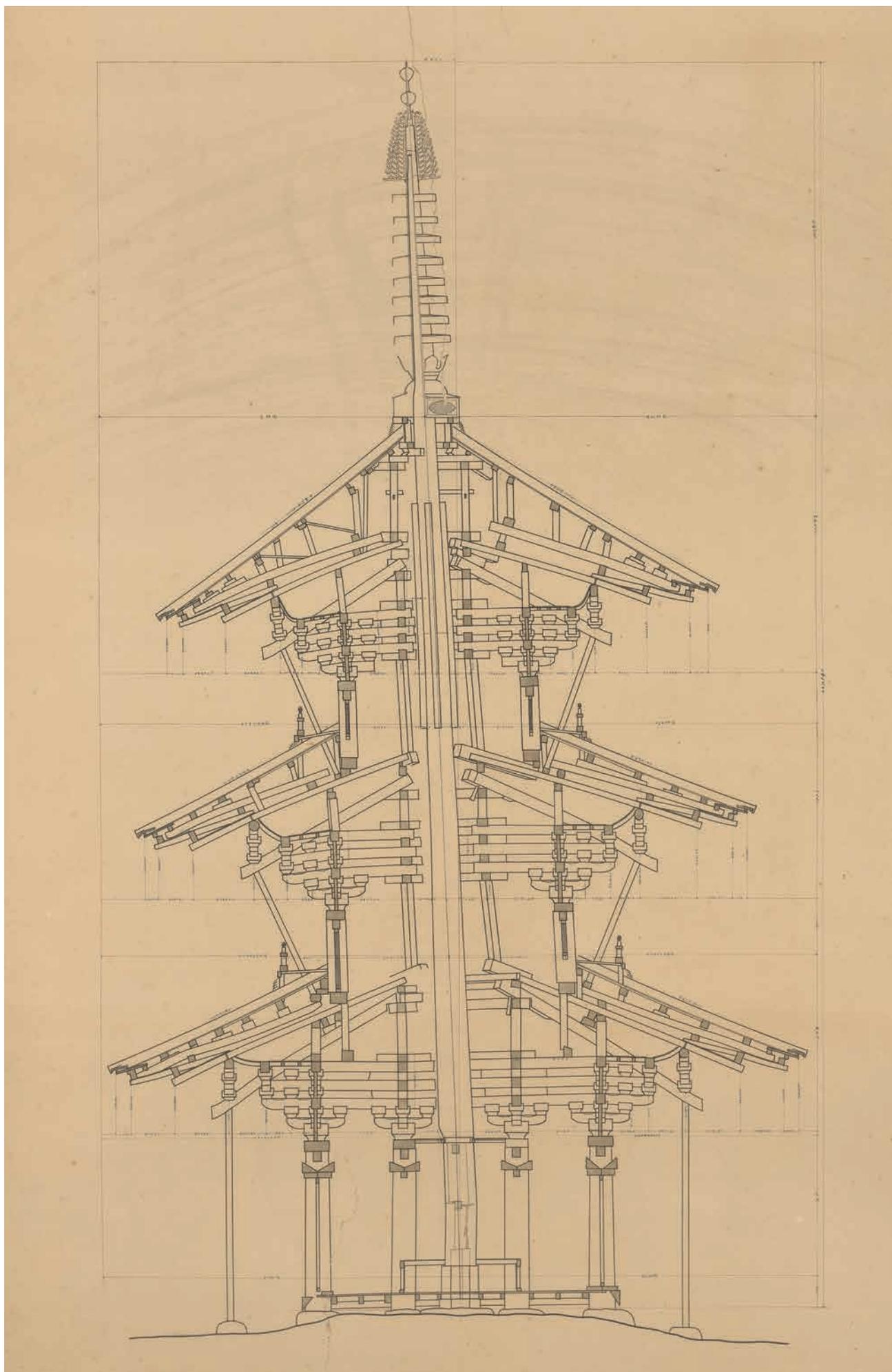
断面图



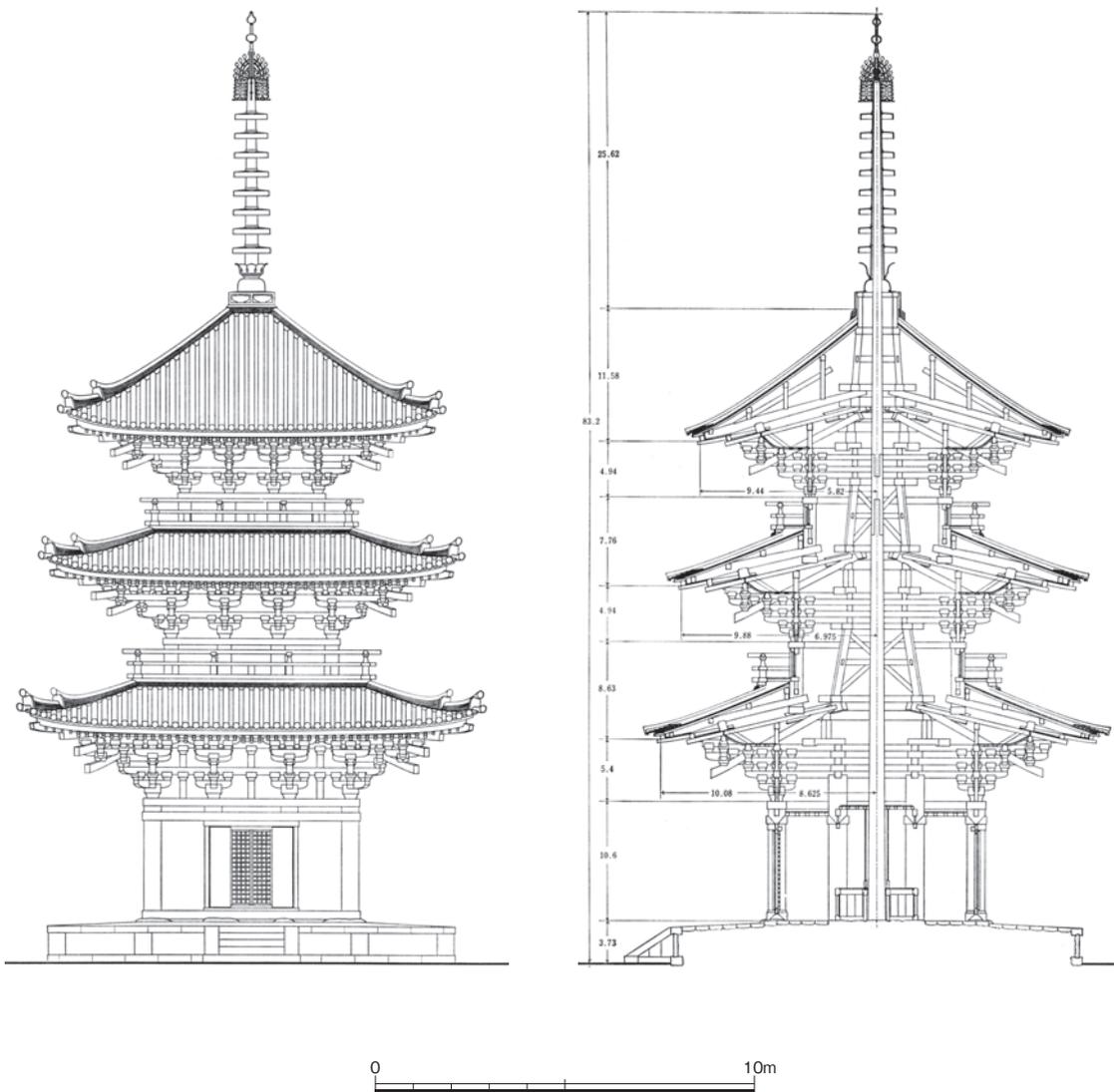


立面图

断面图

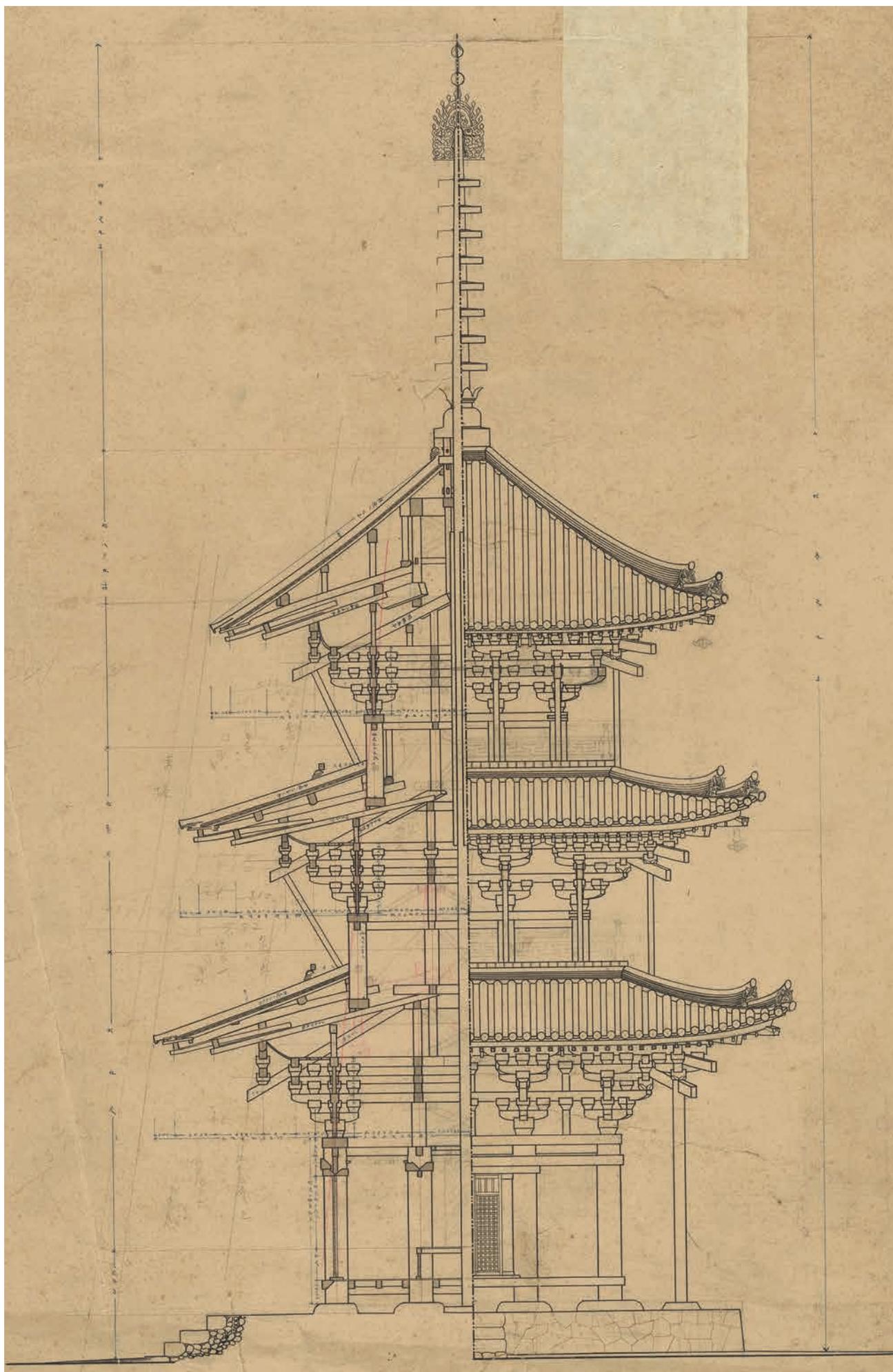


第56図 当麻寺東塔(明治修理前) 断面図 1:100 奈良県所蔵

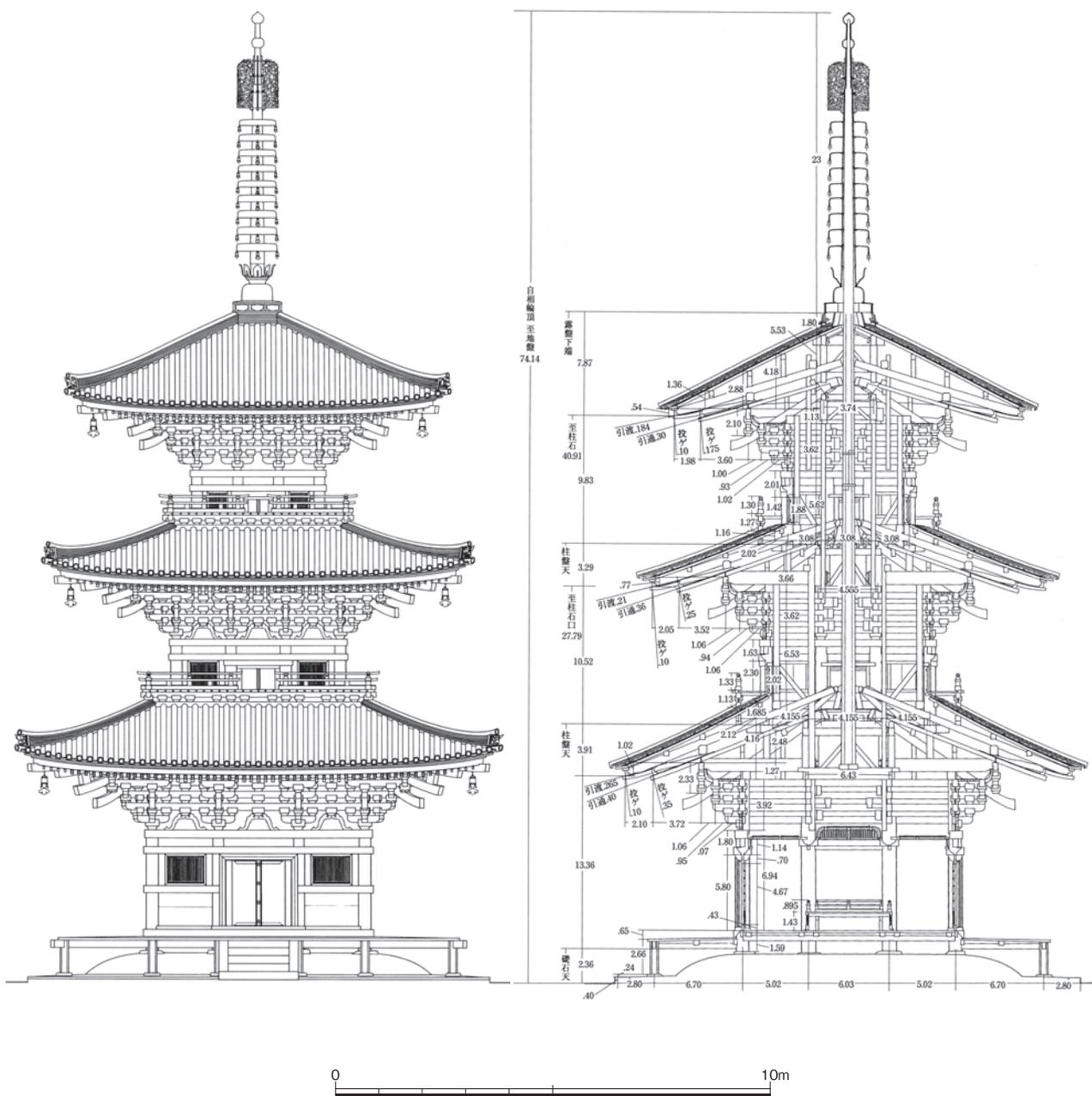


立面图

断面图

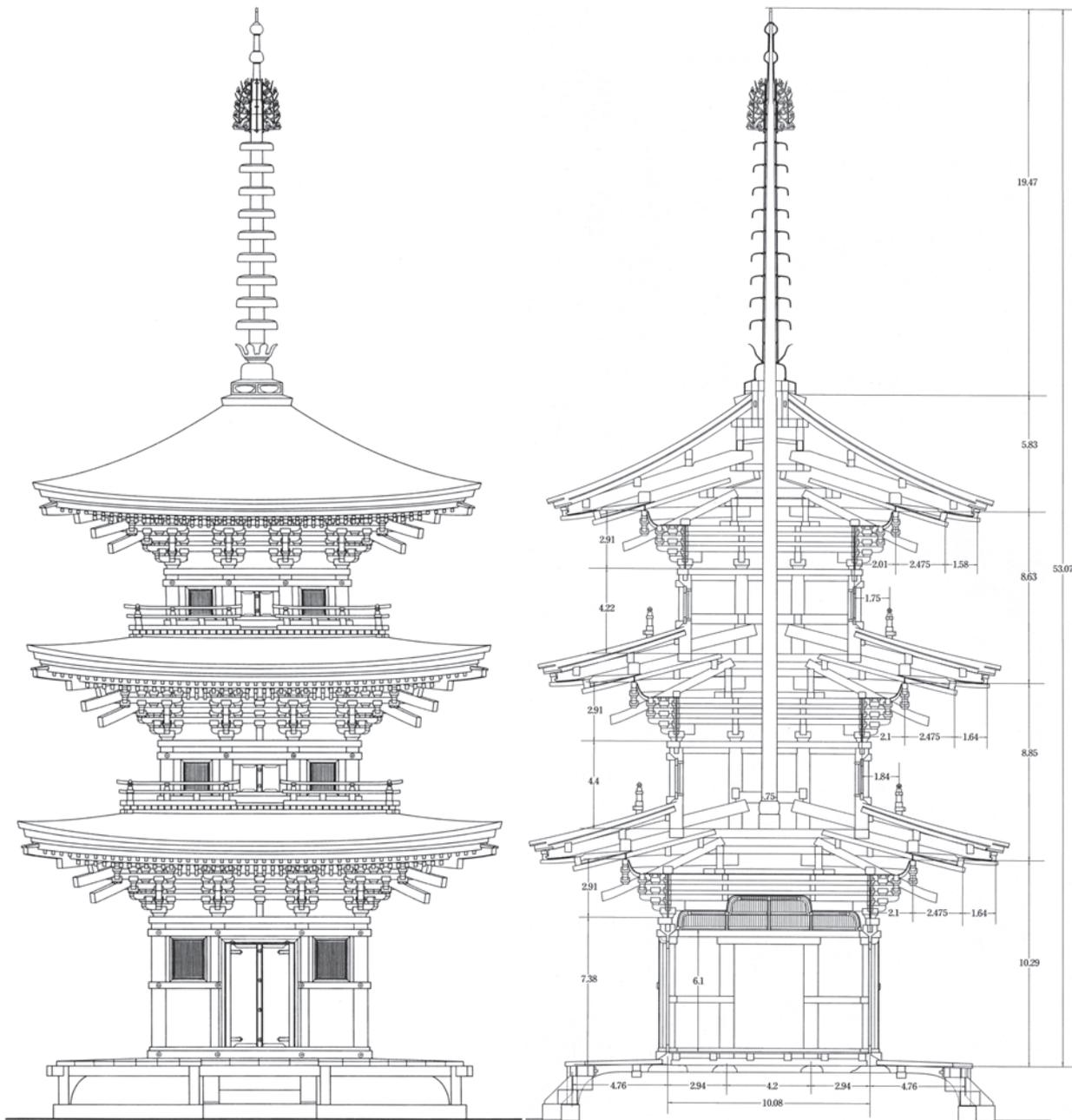


第58図 当麻寺西塔(大正修理前) 立断面図 1:100 奈良県所蔵



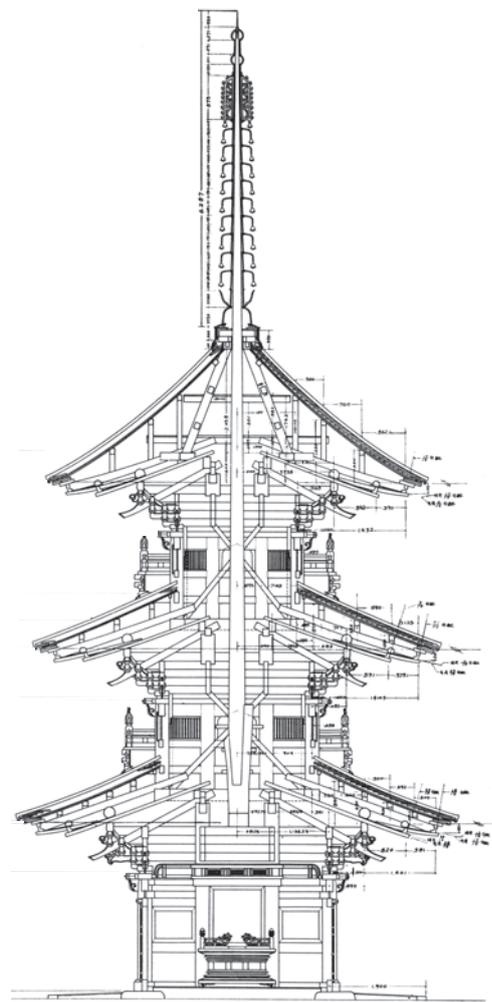
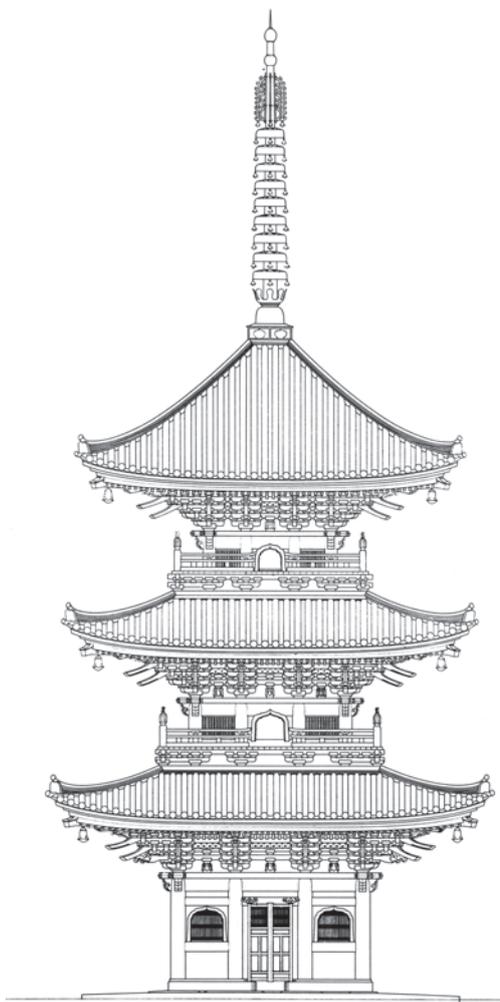
立面図

断面図



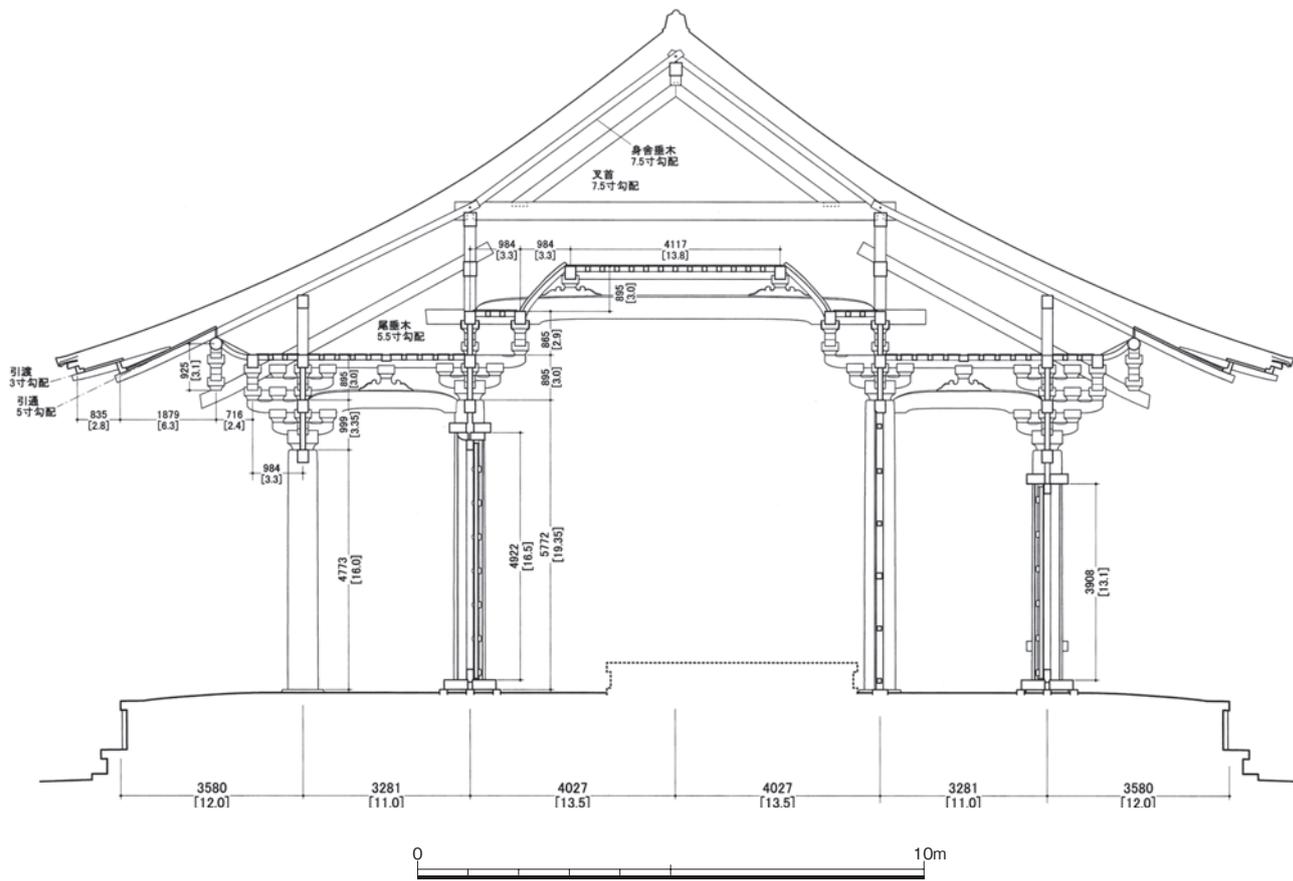
立面图

断面图

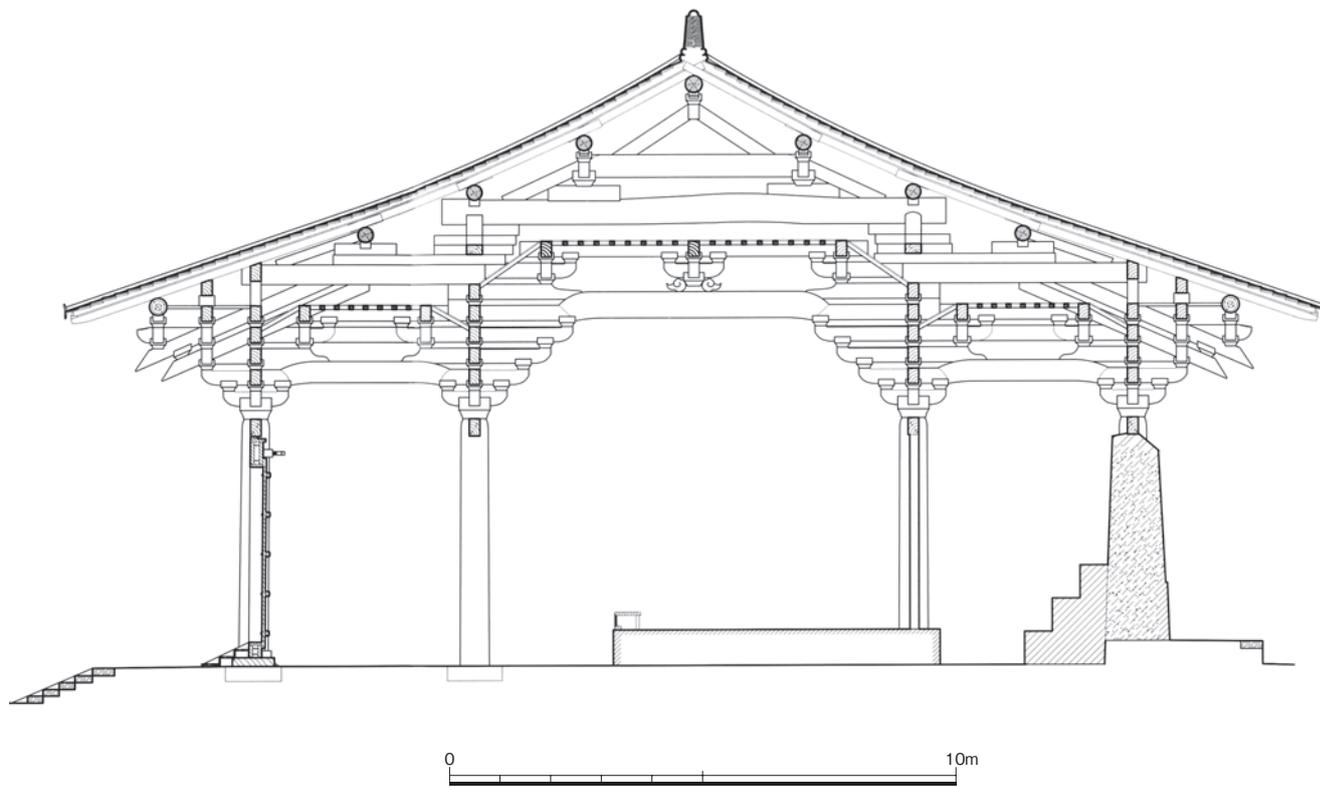


立面图

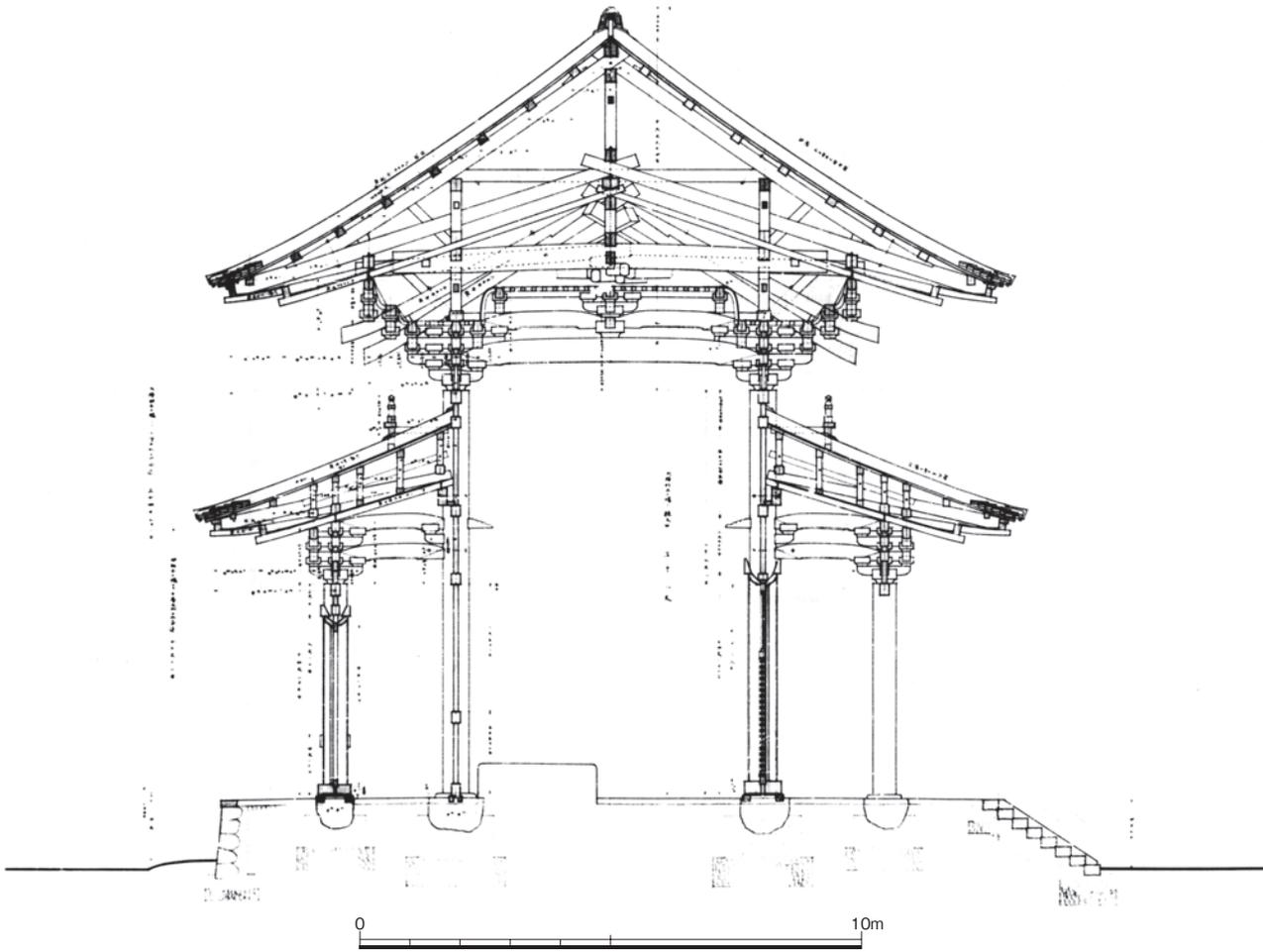
断面图



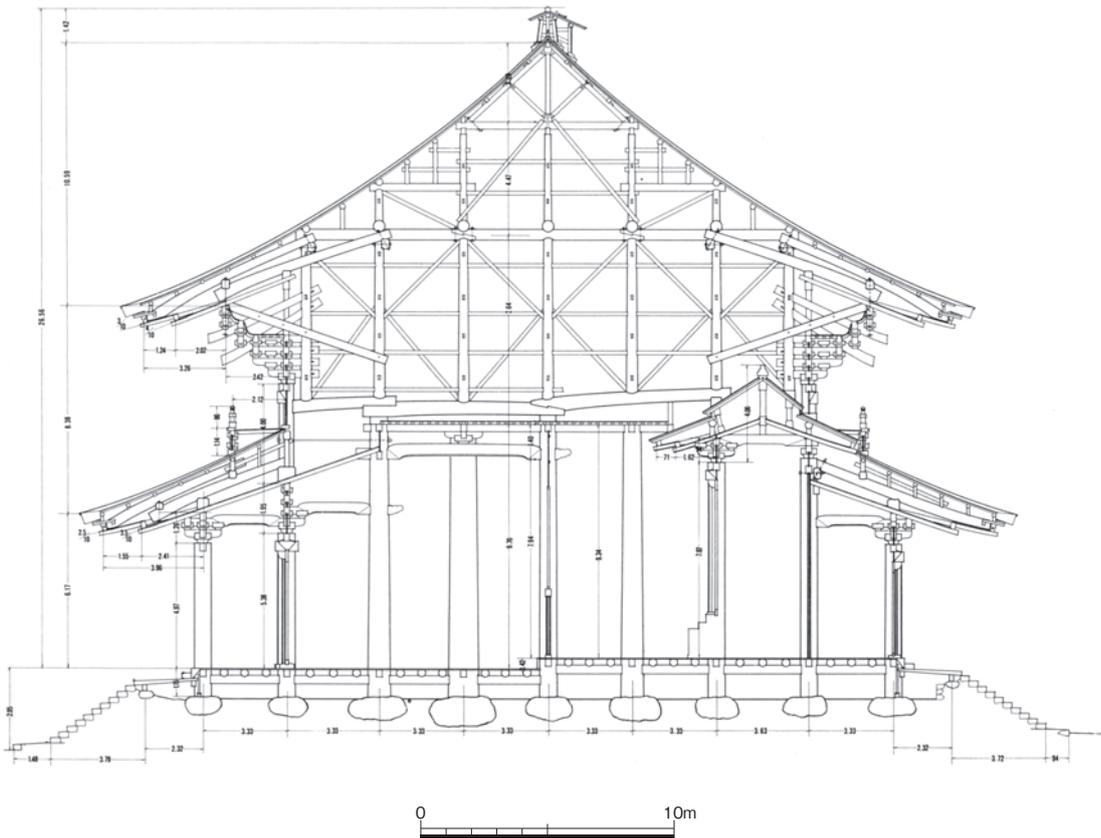
第62図 唐招提寺金堂(復原) 梁行断面図 1 : 150



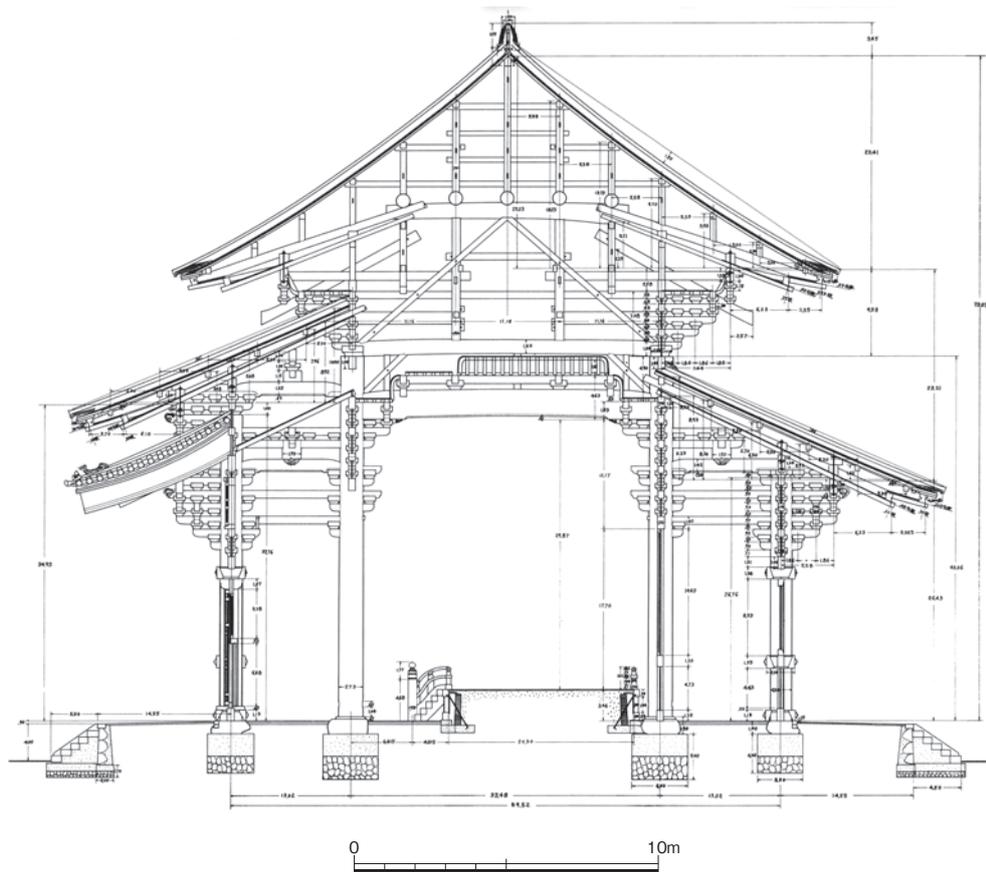
第63図 仏光寺東大殿(中国) 梁行断面図 1 : 150



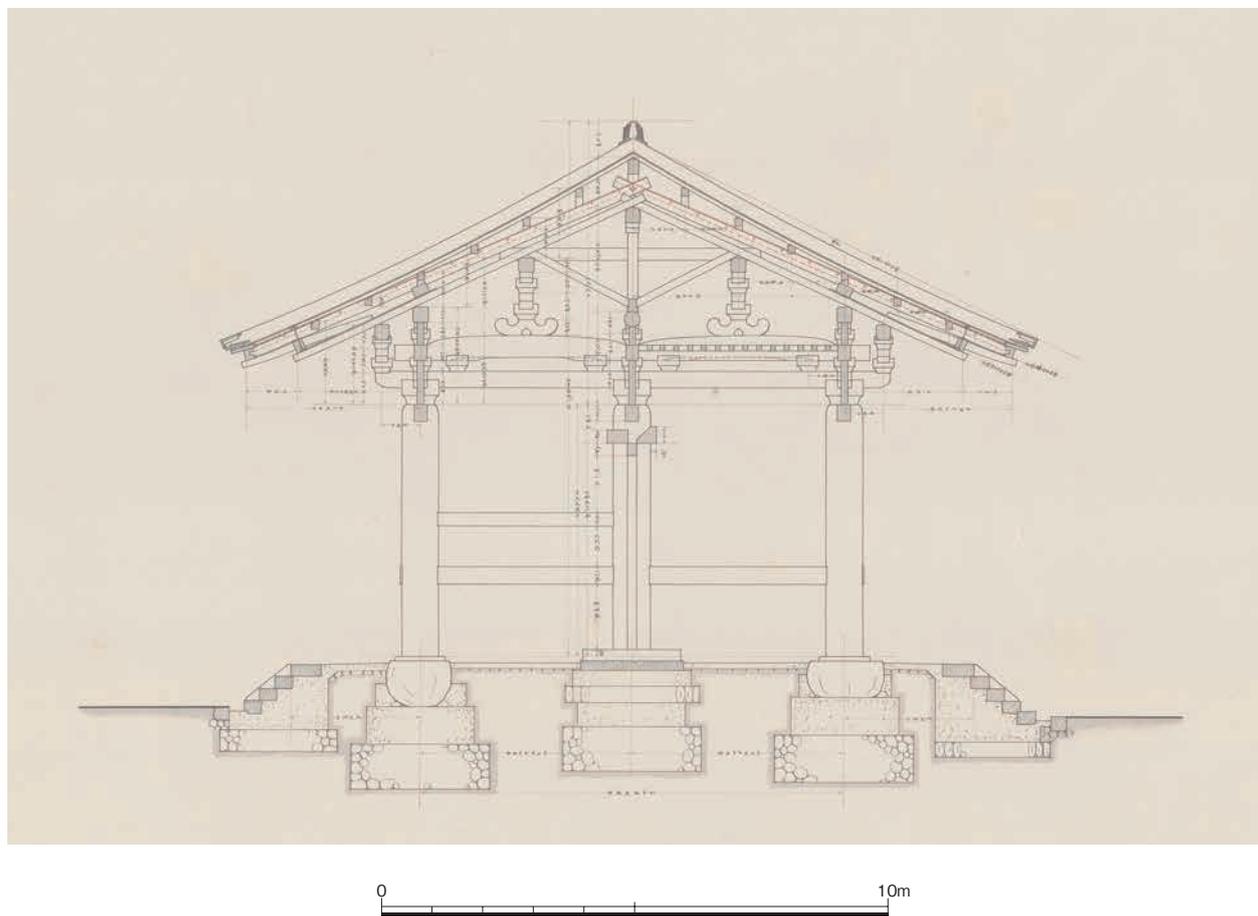
第64図 喜光寺本堂 梁行断面図 1 : 150



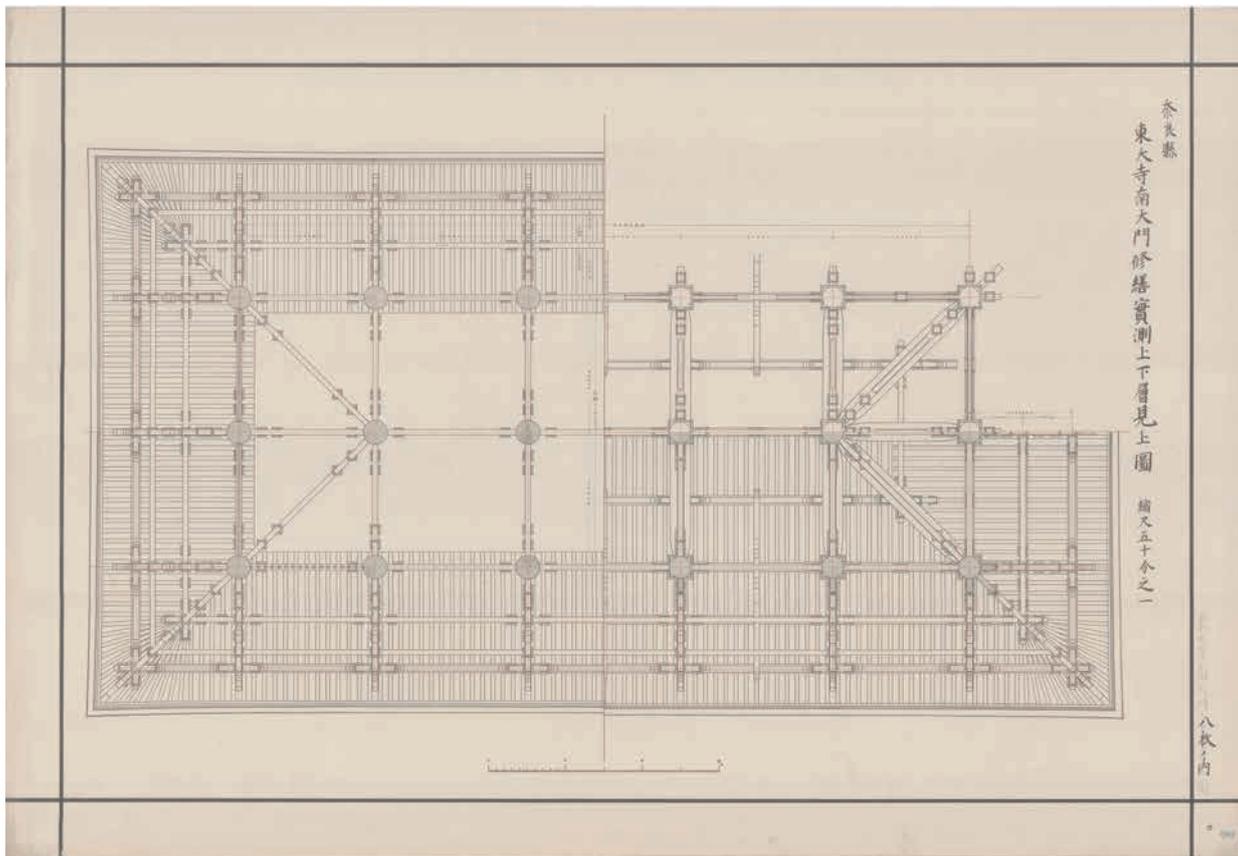
第65図 金峯山寺本堂 梁行断面図 1 : 300



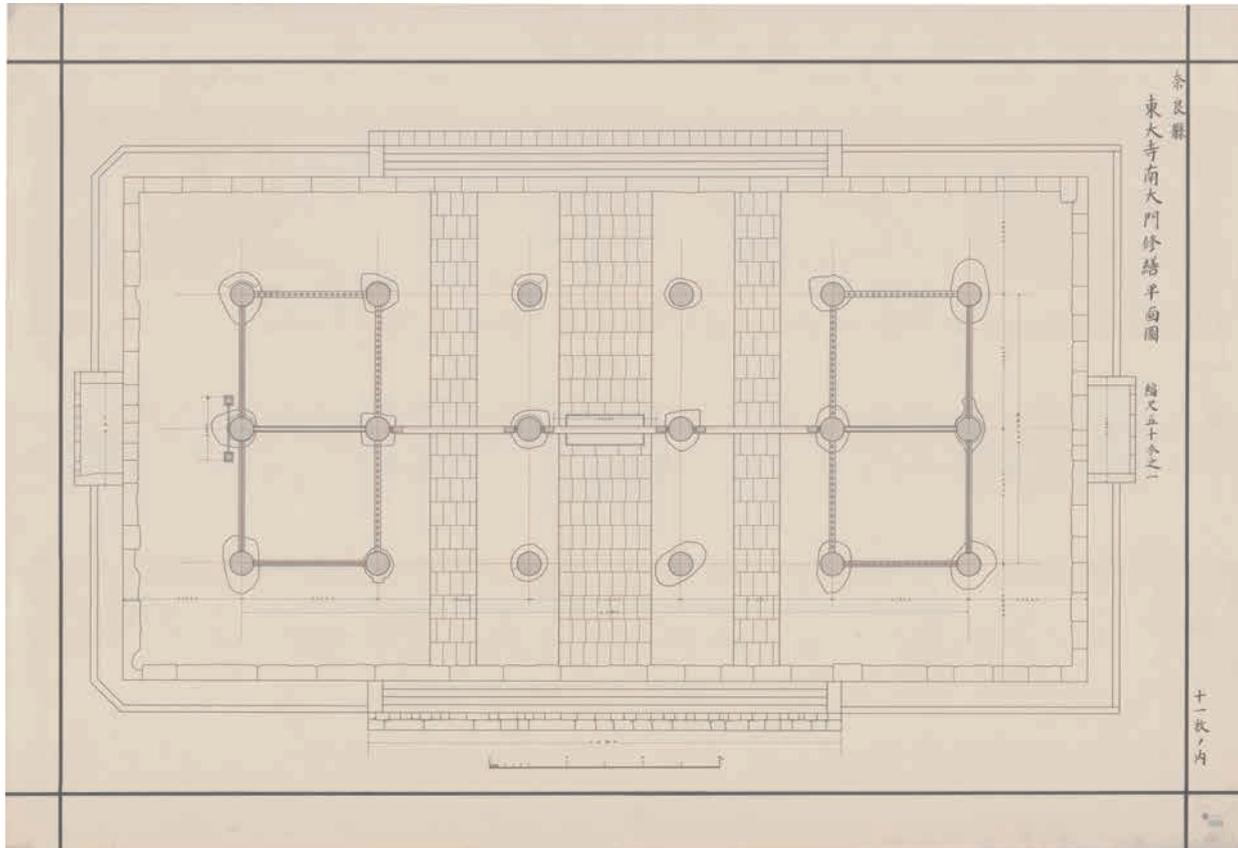
第66図 教王護国寺金堂 梁行断面図 1 : 250



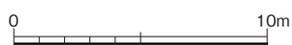
第67図 東大寺転害門 梁行断面図 1 : 150 文化庁所蔵

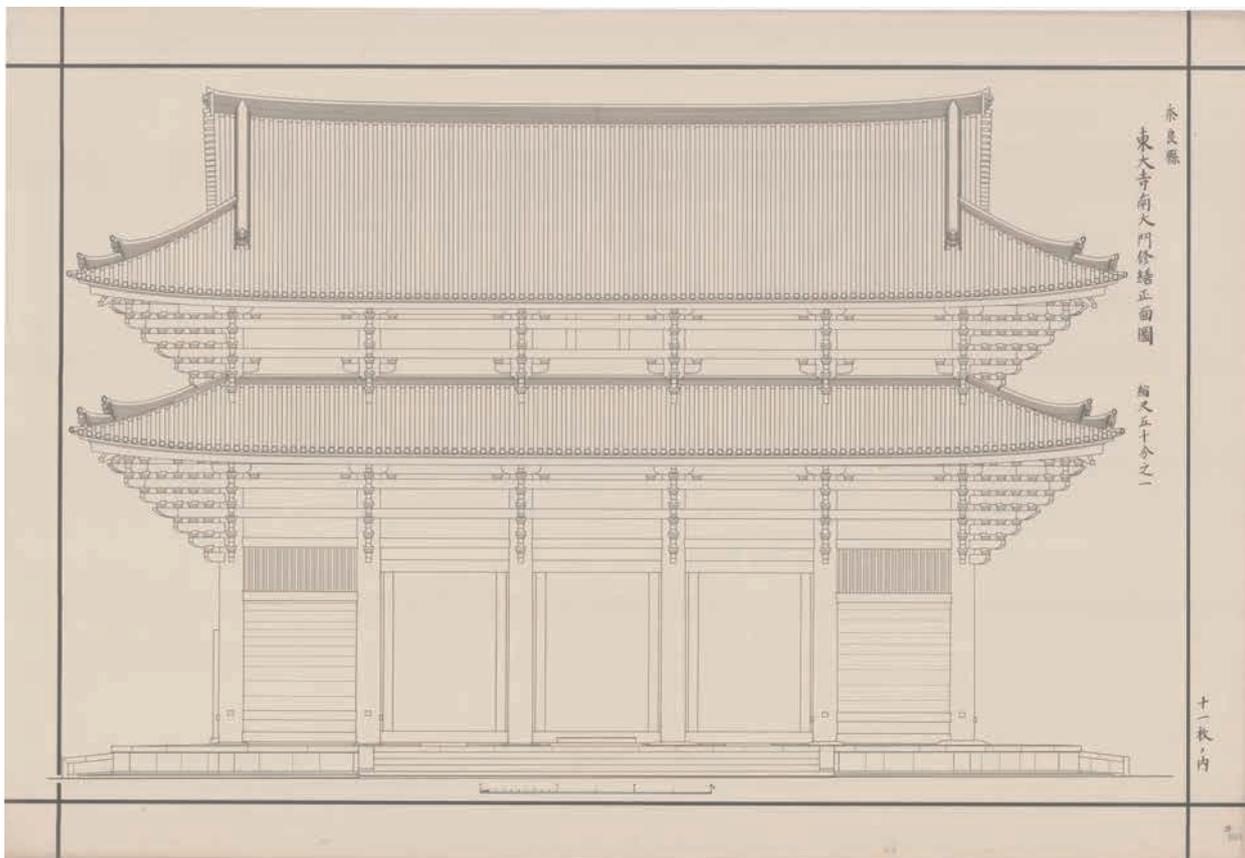


見上図

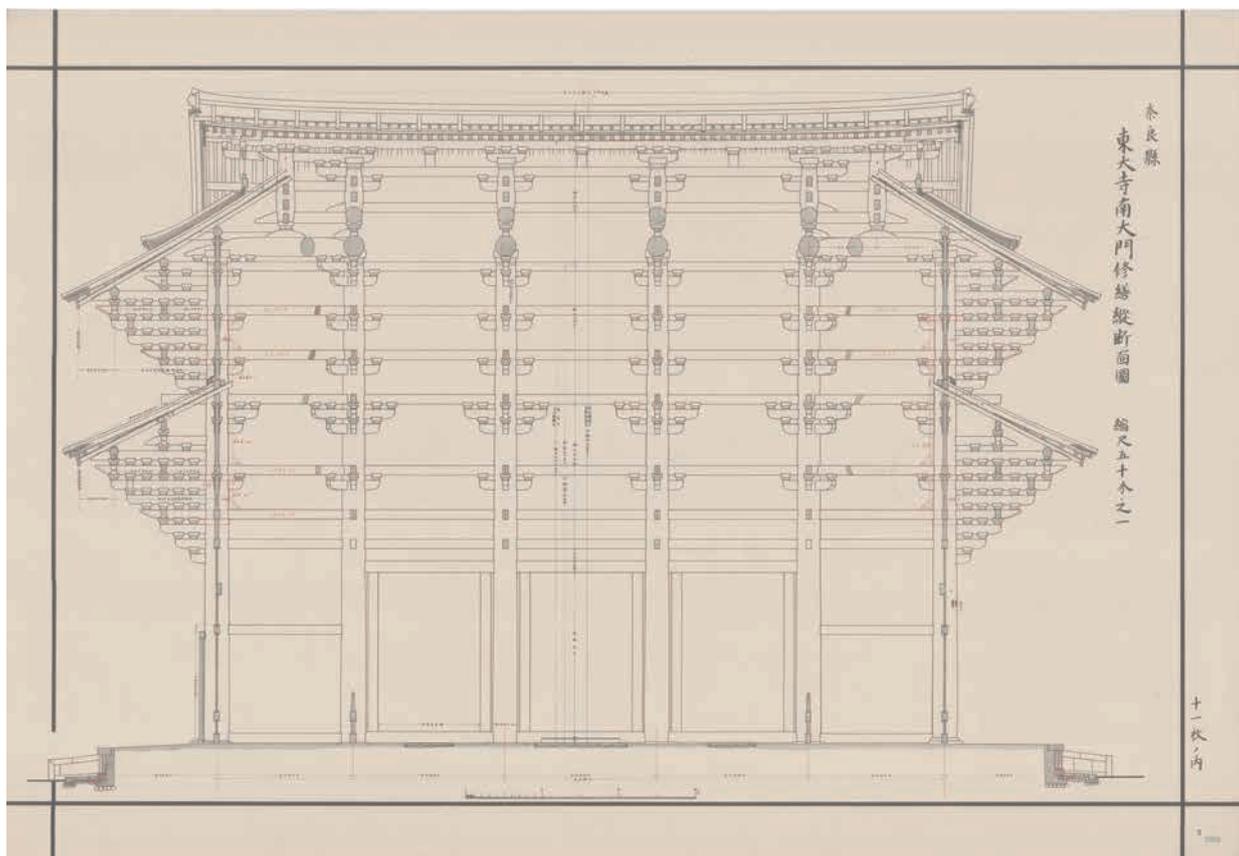


平面図



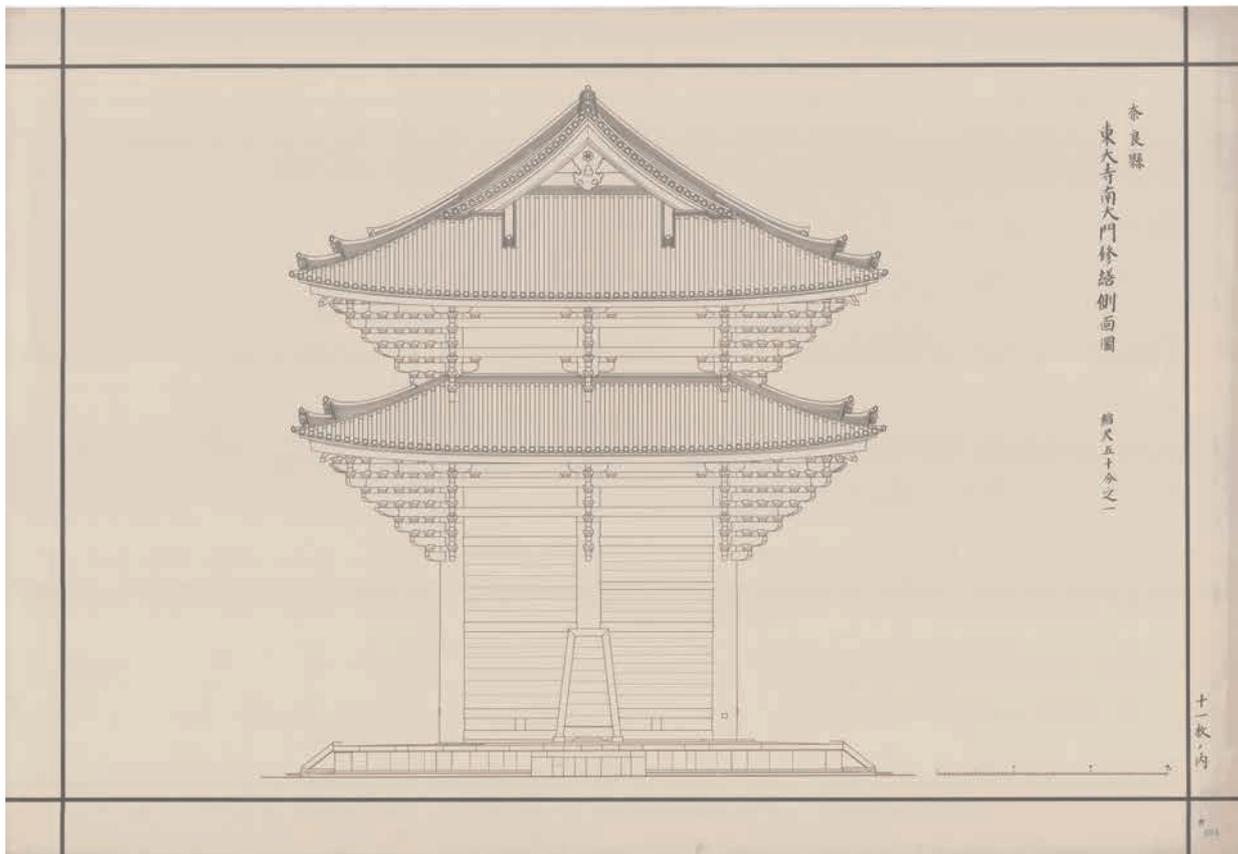


南立面图

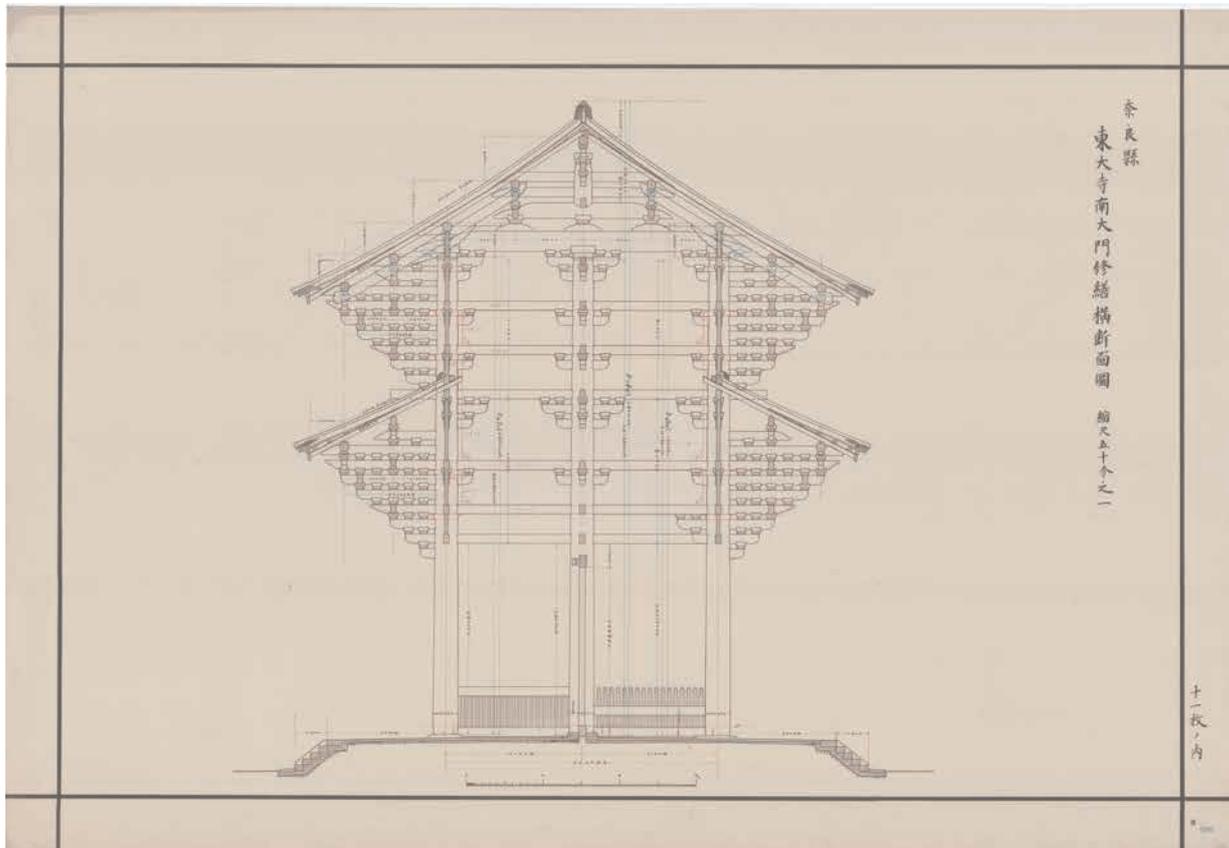


桁行断面图



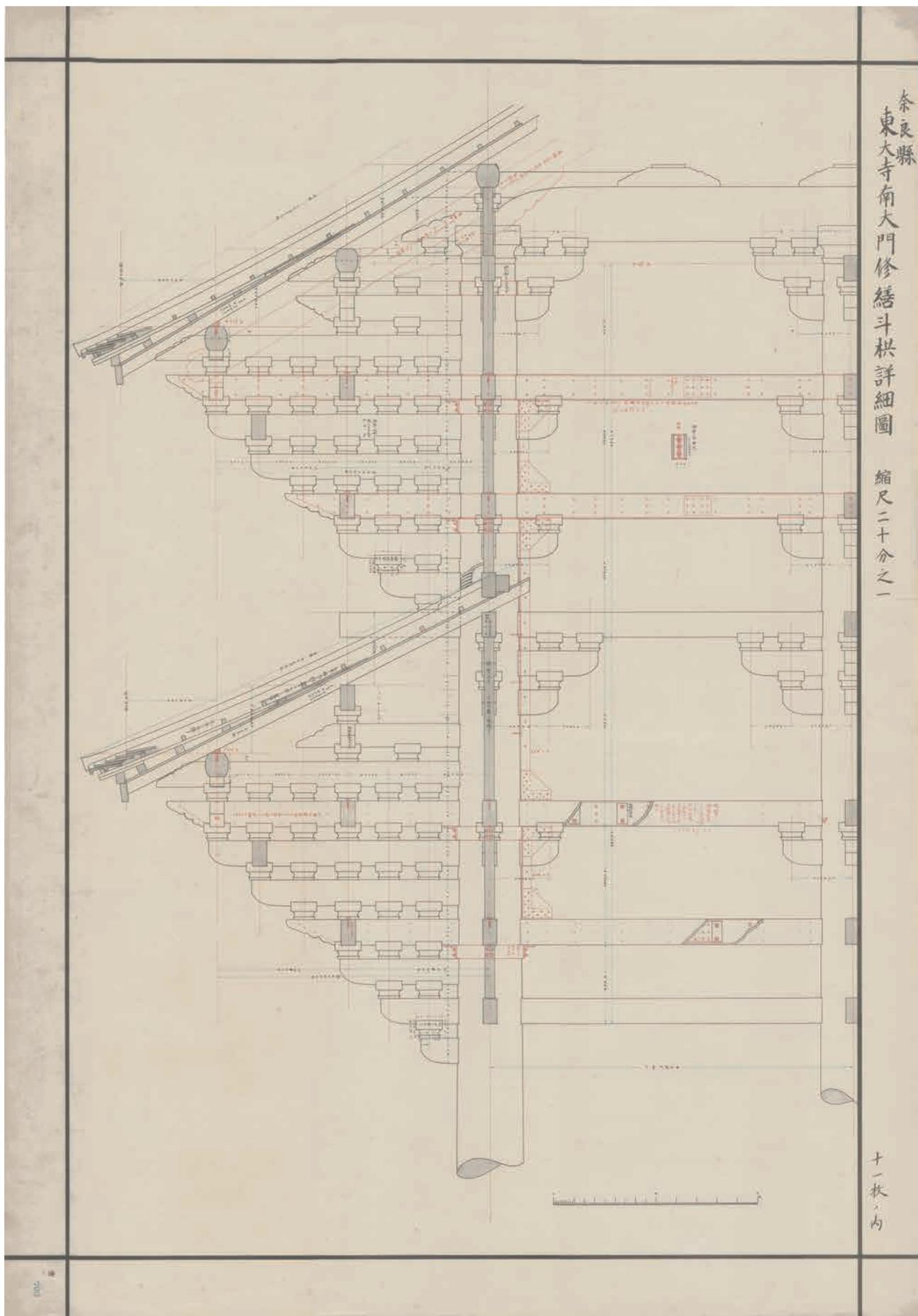


西立面図

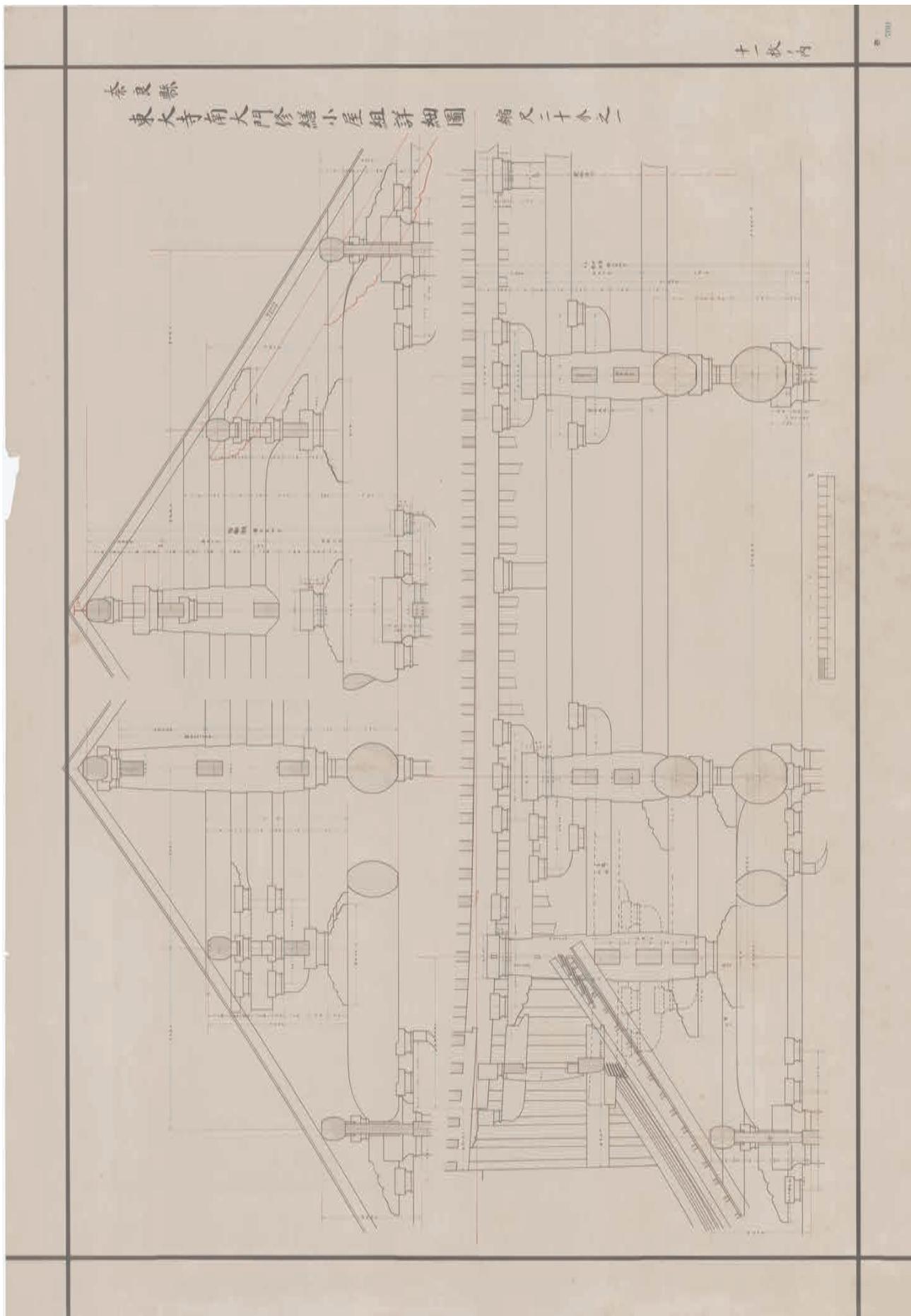


梁行断面図

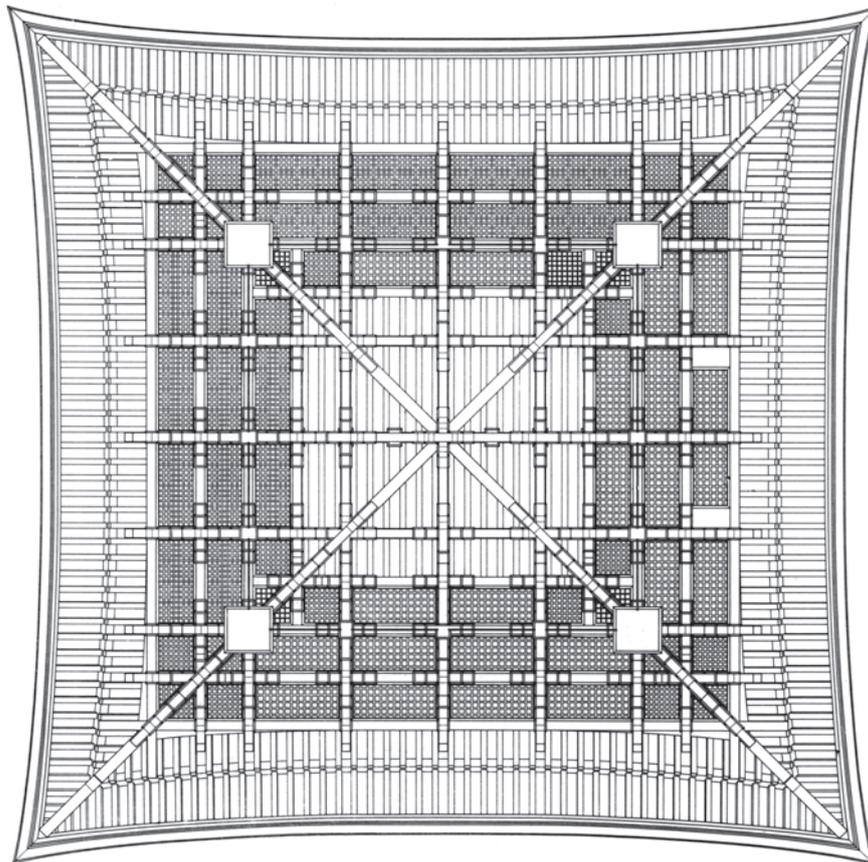




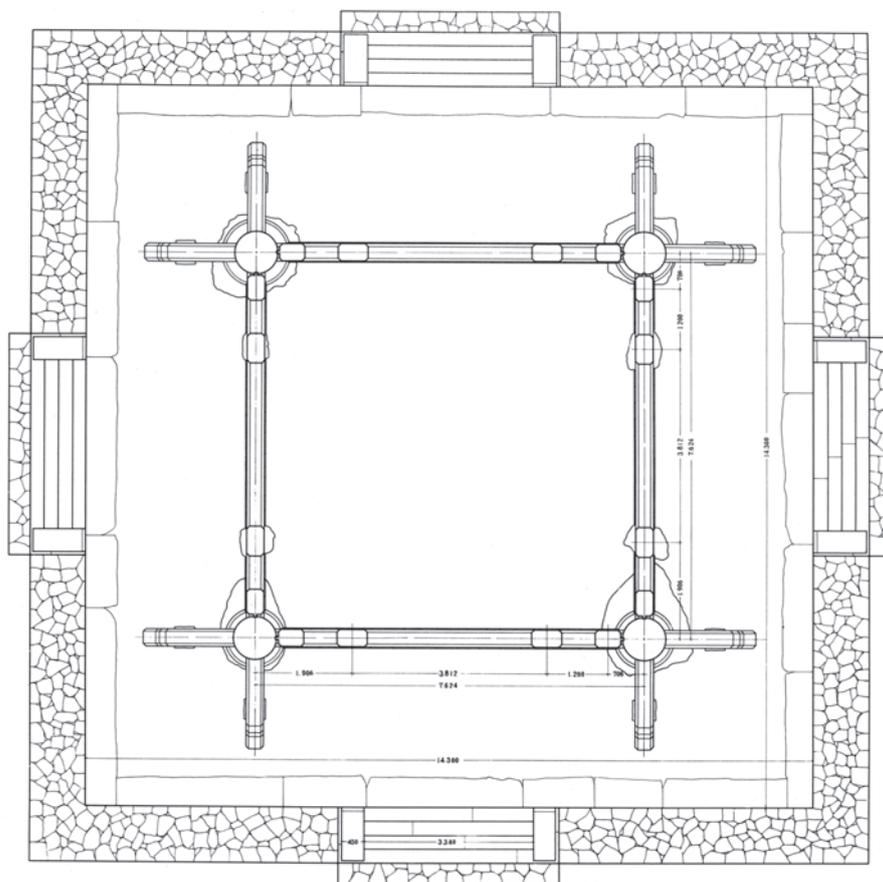
第71図 東大寺南大門 組物断面詳細図 1 : 80 文化庁所蔵



第72図 東大寺南大門 小屋組断面詳細図 1:80 文化庁所蔵

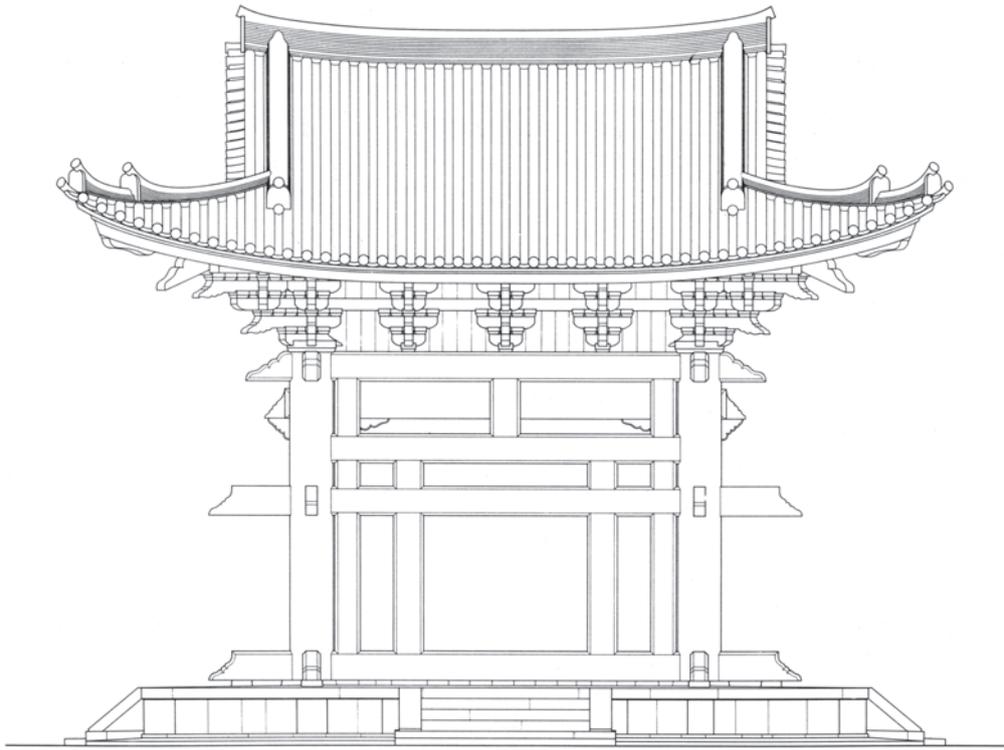


見上図

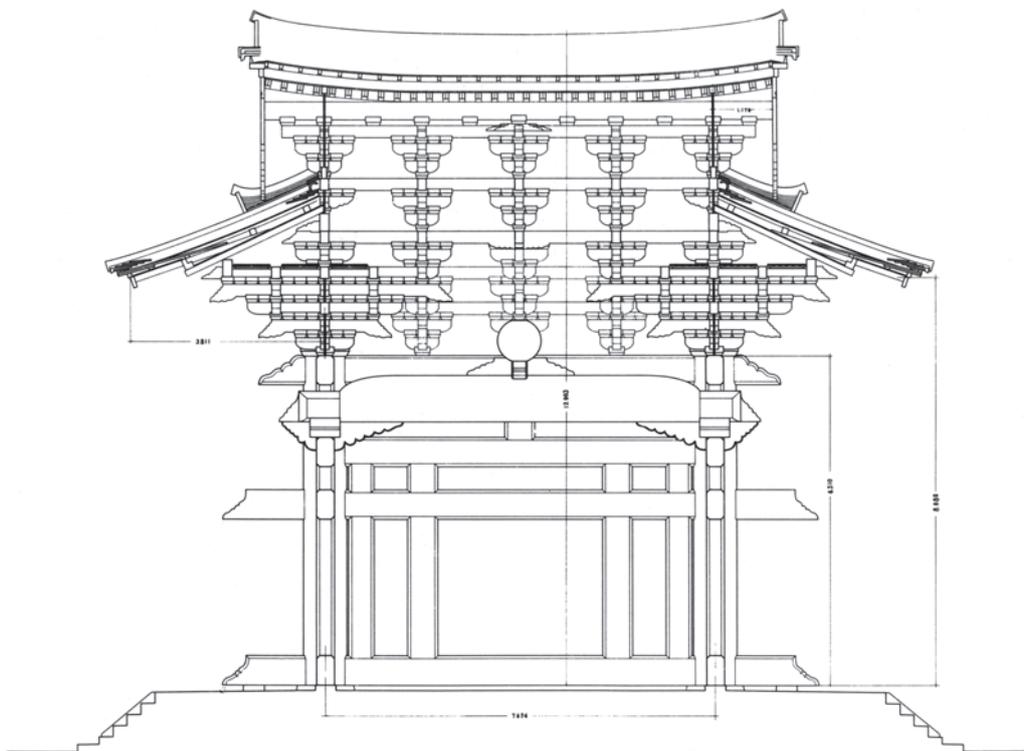


平面図





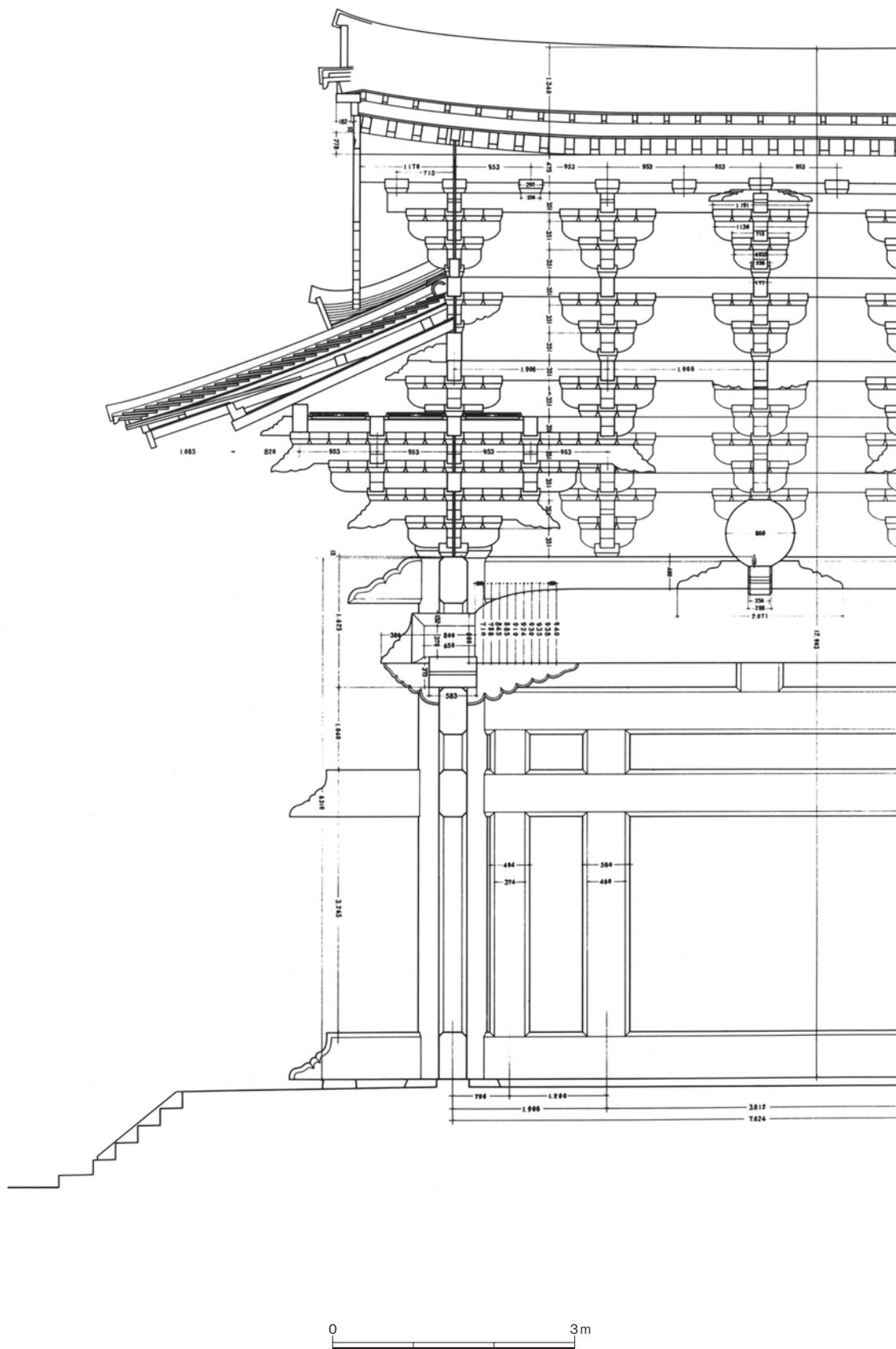
南立面图



桁行断面图







第76図 東大寺鐘楼 桁行断面詳細図 1 : 75



前任三大九尺膝<sup>一尺</sup>坐<sup>一尺</sup>下天三尺螺孔九百六  
 同高各六寸銅座高丈伍六尺八寸上周卅丈四尺基周  
 卅五丈九尺石座高八尺上周卅丈二尺基周卅九丈五尺用  
 熟銅七十三万九千五百六十斤白錫一万二千六百六斤  
 鍊金一万四百六十六兩水銅五百八十六兩雨庄一万六千六  
 百五十六石四一基高十二丈四尺廣九丈六尺脇侍菩薩  
 像二軀重塔高各三丈而長六尺底五尺口長二尺一寸  
 耳長五尺九寸肩長五尺九寸目長二尺三寸鼻下徑  
 一尺八寸鑄觀自在并像二鋪高各五丈四尺廣各三丈八  
 尺四寸四天王像四柱高各四丈天平十五年歲次癸未十  
 月十五日義大願奉造每日三拜處舍那佛自當存  
 念各造普告天下幸寧知識始奉鑄銘三箇年八  
 箇度奉鑄神勝寶四年歲次壬辰三月廿日大佛殿  
 一宇三重十二間高十五丈六尺東西長廿九丈廣十七

大基砌高七尺東西砌長卅二丈六尺南北砌長廿丈六  
 尺八寸本殿戶十六間天蓋三千百廿二蓋出廊一迴戶  
 間東西五十四丈六尺南徑六十五丈塔二基五七重東  
 塔高廿二丈八寸西塔高廿二丈六尺七寸露臚高各八丈  
 八寸二寸同熟銅七万五千五百二斤五兩錫四百九斤  
 十兩白錫一千斤五百十兩二尺鐘一口高二丈三尺寸口  
 徑九尺一寸三寸口厚八寸用熟銅五万二千六百六十斤白  
 錫二千三百斤六佛國後四柱下國公麻呂大鑄師從  
 五位下高市真國從五位下高市真麻呂從五位下  
 權本男玉大從五位權名詠百世從五位下蓋田繩  
 千<sup>三</sup>勅旨封五千<sup>一</sup>戶  
 右奉入造東大寺新其造寺事之後一千戶者用  
 修理破煉粉四千戶者用供養十方三寶粉永年  
 莫動以為福伏願以此无盡之財寶同地无相  
 必永普度无邊之有情欲登无餘之極果矣

位下高市古曆後五位下柿本男五  
 或疏云宇佐宮命婦大倭震利女如以幸  
 之儀式上洛執刀伴力奉鑄御鉢金銅盧  
 舍那代像一鉢以寺築五障子說云總顯  
 以坐高五丈三尺六寸表長一丈一尺廣  
 九尺五寸容鬢高三尺肩長一尺四寸五  
 分日長三尺九寸口長三尺七寸頸長一  
 尺六寸耳長八尺五寸頸長二尺六寸五  
 分肩二丈八尺七寸胸長一丈八尺腹長

一丈三尺脰長一丈九尺肘至腕長一丈  
 五尺掌長五尺六寸中指長五尺脰長二  
 丈三尺八寸五分脰前徑三丈九尺脰厚  
 七尺足下一丈二尺螺形九百六十箇高  
 各一尺徑各六寸銅座高一尺徑六丈八  
 尺上周六一丈四尺基周六丈三丈九尺石  
 座高八尺上周三十丈七尺基周三十九  
 丈五尺田先一基高十一丈四尺廣九丈  
 六尺用鑿銅七十三万九千五百六十斤

白銀一万二千六百十八斤鍊金一万四  
 百卅六兩水銀五万八千六百六兩炭一  
 万八千六百五十六石狹待并像二軀並  
 高各三丈佛殿一字二重十一間高十五  
 丈六尺東西九丈廣十七丈基砌高七  
 尺東西長卅二丈七尺南北砌長廿丈六  
 尺柱八十四支殿戶十六建塔二基並皆  
 七重東塔高卅三丈八寸西高廿三丈六  
 尺七寸露盤高各八丈八尺二寸用鍊金

一十五百兩二分鑿銅七万五千五百二  
 斤五兩白銀四百九十斤十兩大工從五  
 位下下猪名部百世後五位下益田繩手  
 又造舉按高十五丈講堂厨坊食屋戒院  
 官舍僧房皆悉備具鑄鐘一口高一丈三  
 尺六寸口徑九尺一寸三分口厚八寸身  
 四八丈用鑿銅五万二千六百八十斤白  
 錫四百九十斤  
 己酉日宇佐宮八幡大明神託宣白京申

坐高五丈三尺五寸面長三丈三尺九寸六分深高四丈三尺九寸  
 長三丈三尺九寸自長三尺九寸口長三尺七寸頸長一尺六分耳長一尺五寸  
 長三尺六寸五分肩二丈尺七寸寸肩長一丈八尺腹長一丈八尺臂長一丈九  
 尺肘至腕長一丈五尺掌長五尺寸中指長五尺腕長三丈三尺寸五分  
 膝前保三丈九尺膝後七尺是下丈三尺螺形九百六十箇耳若心  
 尺徑若六寸銅坐高二尺徑三丈六寸上圍三丈六尺是周圍三丈九尺石  
 二座高八尺上圍三丈七尺其周圍三十九丈四尺其基高十丈四尺是  
 九丈六寸用純銅七十三萬九千五百三十九斤白銀一萬二千六百十斤  
 鍊金一萬三千四百六十六兩火銀五萬五千三百兩炭一萬一千三百五十二石  
 待并像二尊並高若三丈併像一尊上堂十間高十五丈言今集  
 西廿九丈五寸七丈其基砌高七尺東西長廿二丈八尺北砌七丈五  
 尺柱半丈殿戶十達塔三基並高七重東塔高廿三丈守高  
 廿三丈塔七寸露盤高各八丈八寸用鍊金一萬五千五百十兩二  
 分純銅七萬五千五百二十九斤五兩白銀百九十九斤十兩工役五萬  
 下諸名刹百世造位下卷回徑半丈造奔技馬十五丈海  
 雲厨坊倉庫戒院實令信房皆悉備具鑄鐘一口高二丈三  
 尺六寸口徑九尺一寸三分原八寸身四丈用純銅五萬二千六  
 百八斤白銀百九十九斤  
 己酉日官信官八捕大明神託宣向京申力日老老設造位信正官  
 州御儿年造待造五位下藤原卯其吳名寺五迎我使路次  
 諸國差教兵位一百人以上前後馳降又所歷之國禁新教生具  
 從供給不須酒肉道路清掃不令行藏十二月戊日日達上  
 位十人散位廿人六法府舍人若廿人達八捕神於平群是日  
 入京即於宮南聚原宮造新殿以為神宮請御十二日  
 十日丁亥日天皇相率太上天皇皇太子皇孫皇太子皇孫  
 五十僧礼佛是日八幡神拜祭大寺百穴頭人等

第一三圖 金勝院本『扶桑略記』(抄本 孝謙天皇 部分) 天理大学附属天理図書館所蔵  
 著作権法上の例外を除く二次利用を禁ず

丈九尺石座高八尺上周三十四丈七尺基  
 周丈九丈五尺用契銅七千二百九十九百  
 六十斤白錫一万二千六百十八斤練金一  
 万四千五百六十二斤銅五万八千六百兩炭三  
 万六千五百五十六斤解圍克一基高十一丈  
 四尺廣九丈六尺狹侍菩薩像二軀並塔高  
 各三丈面長六尺廣五尺口長二尺一寸耳  
 長八尺九寸肩長五尺九寸目長二尺二寸  
 鼻下紐一尺八寸編觀自在菩薩二鋪高九  
 五丈四尺廣各三丈八寸四寸四尺五像也  
 柱高各四丈六寸八寸四寸五寸一七寸  
 大佛殿一宇二重十一間高二丈六尺東  
 西長丈九丈廣十七丈基砌高七尺東西砌  
 長亦二丈七尺南北砌長亦丈六尺柱八十  
 四枚戶十六間天窗之千五百二蓋亦亦  
 一週戶亦間東西徑五十四丈南北徑

六十大塔二基並七重東塔高亦丈  
 八寸西塔高亦三丈六尺七寸露盤高亦八  
 丈八尺三寸用契銅七万五千九百二十斤五  
 兩白錫四万九千十兩練金一千五百十五  
 斤  
 鐘一口高一丈二尺六寸口徑九尺一寸之  
 分口厚八寸用契銅五万二千六百八十斤  
 白錫二千三百斤  
 大佛師從四位下國土麻呂大鑄師從五位  
 下高市真國從五位下高市真麻呂從五位  
 下栢本男玉  
 大工從五位下稻佐部百世從五位下益田  
 繩字  
 石清水八幡宮薩國寺  
 經略記云取大菩薩形男山峯昂家置  
 御殿緣記



像者勿禁勿障同建百生獲像令加造天政官奉 初昔告天  
下事率知識以天平十五年歲次癸未十月十五日於迎江  
國信樂京奉劍佛像其歲已止更以天平十七年歲次己酉  
八月廿三日於大倭國滄上郡奉劍同像 天皇專以御神  
入土持運加於御座然後召集以人等運至尊聖御座以  
天平十九年歲次丁亥九月十九日始奉鑄鑄以勝寶元年  
歲次己丑十月廿四日奉鑄已畢 三箇年八箇度奉鑄御座  
以天平勝寶四年歲次壬辰三月十四日始奉鑄金承昇之  
間以同年四月九日舖於大奉開眼也 同日奉入大小灌頂  
七六流其樂胡樂中樂敬樂高麗樂珍寶寺金銅盧舍那佛  
像一軀銘脚踏坐高五丈三尺五寸 面長一丈六尺廣九尺

五寸內髻高三尺肩長五尺四寸五分月長三尺九寸口長  
三尺七寸頤長一尺六寸耳長八尺五寸頸長二尺六寸五  
分有徑長二丈八尺七寸胸長一丈八尺腹長一丈三尺臂  
長一丈九尺肘至腕長一丈五尺掌長五尺六寸中指長五  
尺脛長二丈三尺八寸五分膝前徑三丈九尺膝厚七尺足  
下一丈三尺螺狀九百六十六ヶ高各一尺徑各三尺六寸  
銅座高一丈徑六丈八尺上同廿一丈四寸基同廿三丈九  
尺右座高八尺上同三十四丈七尺基同卅九丈五尺用契  
銅七十三万九千五百六十斤白鐵一万二千六百十八斤  
練金一万四百五十六兩水銀五万八千六百二十兩炭一  
万六千六百五十六斛圓光一基高十一丈四尺廣九丈六

尺依侍菩薩像二軀是塔高各三丈面長六尺廣五尺口長  
二尺一寸耳長五尺九寸肩長五尺九寸廣各三丈八尺四  
寸四天三儀四柱高各四丈  
大佛殿一宇二重十一間高十五丈六尺東西長廿九丈廣  
十七丈基初高七尺東西初長三十二丈七尺南北初長七  
丈六尺徑八十四枚殿戶十六間天蓋三千百廿二蓋步廊  
一廻戶七間東面徑五十四丈六尺南北徑六十六丈五尺塔  
二基並七重東塔廿三丈八寸西塔高廿三丈六尺七寸露  
檣高各八丈八尺二寸用熟銅七万五千五百二十九兩白  
鐵四百九斤十兩練金一千五百十三分  
鐘一口高一丈三尺六寸口徑九尺一寸三分口厚八寸用

熟銅五万二千六百八十斤白鐵二千三百斤  
大佛師從四位下國士麻呂  
大鑄師從五位下高市真國  
從五位下高市真麻呂  
從五位下柿本胃主  
從五位下楮名百世  
從五位下益田繩手

石清水八幡宮護國寺  
略記 三所大菩薩移在男山峯即奉安道御體  
緣起事

丈九尺、石座高八尺、上周三十四丈七尺、基  
 周卅九丈六尺、用熟銅七千三百九十五百  
 六十斤、白錫一万二千六百十八斤、鍊金一  
 万四百六十六兩、水銀五万八千六百兩、炭十  
 万六千三百五十六斤、解圖光一基、高十一丈  
 四尺、廣九丈六尺、狹侍菩薩像二軀、並棟高  
 各三丈、面長六尺、廣五尺、口長二尺一寸、耳  
 長五尺九寸、肩長五尺九寸、目長二尺七寸、  
 鼻下徑一尺八寸、繡觀自在菩薩二鋪、高各  
 五丈四尺、廣各三丈八尺四寸、四天王像四  
 柱、高各四丈三丈六寸、  
 大佛殿一字、二重十一間、高卅二丈六尺、東  
 西長卅九丈、廣十七丈、基砌高七尺、東西砌  
 長卅二丈七尺、南北砌長廿丈六尺、柱八十  
 四枚、殿戶十六間、天壘三千百廿二益、步廊  
 一迴、戶亦間、東西徑五十四丈六尺、南北徑

六十五丈、石塔二基、並七重、東塔高卅三丈  
 八寸、西塔高卅三丈六尺七寸、露盤高各八  
 丈八尺三寸、用熟銅七万五千五百二十斤、  
 兩、白錫四百九斤十兩、鍊金五千五百十兩  
 二斤、鐘一口、高一丈三尺六寸、口徑九尺一寸三  
 分、口厚八寸、用熟銅五万二千六百八十斤、  
 白錫二千三百斤、  
 大佛師從四位下、國土麻呂、大鑄師從五位  
 下、高市真國、從五位下、高市真麻呂、從五位  
 下、下柄本男玉、  
 大工從五位下、指名部百世、從五位下、益田  
 總子、  
 石清水八幡宮護國寺、  
 御鉢緣記、

第九圖 伴信友校訂本『朝野群載』卷十六仏事上「東大寺大仏殿仏前板文」(部分) 東京国立博物館所蔵

丈九尺石座高八尺上周三十四丈七尺基  
 周世九丈五尺用鑿銅七千三万九千五百  
 六十斤白鑄一万二千六百十八斤鍊金一  
 万四百卅六斤 銅五万八千六百兩炭一  
 万六千三百五十六斛圓光一基高十一丈  
 四尺廣九丈六尺狹侍菩薩像二軀並壇高  
 各三丈而長六尺廣五尺口長二尺一寸耳  
 長五尺九寸肩長五尺九寸目長二尺二寸

鼻下徑一尺八寸縹觀自在菩薩二鋪高各  
 五丈四尺廣各三丈八尺四寸天王像四  
 柱高各四丈  
 大佛殿一字二重十一間高 二丈六尺東  
 西長廿九丈廣十七丈基礎高七尺東西砌  
 長卅二丈七尺南北<sup>北</sup>砌長廿丈六尺柱八十  
 四枚殿戶十六間天蓋三千百廿二蓋步廊  
 一週戶廿間東西徑五十四丈 尺南北徑

六丁丈 塔二基並七重東塔高古三丈  
 八寸西塔高廿三丈六尺七寸露盤高各八  
 丈八尺二寸用鑿銅七万五千五百二斤五  
 斤白鑄四百九斤十五鍊金一千五百十五  
 二  
 鐘一口高一丈三尺六寸口徑九尺一寸三  
 分口厚八寸用鑿銅五万二千六百八十斤  
 白鑄二千三百斤

大仙師從四位下國土麻 大鑄師從五位  
 下高市真國從五位下高市真麻呂從五位  
 下柿本男玉  
 大工從五位下橘名部百世從五位下益日  
 繩手  
 石清水八幡宮護國寺  
 略記 三所大菩薩移 男山峯即安置  
 御辨緣記

運土築堅所座以天平十九年歲次丁亥九月九日始  
奉鑄鉢以勝室元年歲次己丑十月曾奉鑄已畢  
三十一年八月度奉鑄所鉢以天平勝室四年歲次  
壬辰二月丁酉始奉鑄金未畢以同以明年四月  
九日儲於大奉所也同日奉入大小灌頂共六流  
承明示中示散示高禰示珍室等

金鈿盧舍那佛像一施法迦改造高五丈三尺五寸面  
長一丈六尺廣九尺五寸完駱高三尺肩長五尺四寸  
身長三尺九寸口長三尺寸頸長一尺六寸耳長八寸  
頸長二尺六寸五分肩長二丈八尺七寸胸長一丈八尺

長一丈三尺臂長一丈九尺肘至腕長一丈五尺掌長五尺  
六寸中指長五尺脈長一丈三尺八寸五分脉筋長一丈九  
尺厚七尺足下一丈三尺螺紋九百六十六高各一尺徑各  
三尺六寸鈿座高一丈徑六丈八尺上周一丈四寸基周亦  
三丈九尺石座高八尺上周一丈四寸基周亦九丈五尺  
用鑿鈿七千三百九十九百六十七斤白錫一萬二千六百十  
八斤鍊金一萬四百六十六兩水鈿五萬八千六百兩炭一萬  
六千六百五十六斤餅四萬一萬一千四百尺廣九丈定  
候侍菩薩像二軀並塔各三丈面長六尺廣  
五尺口長二尺一寸身長五尺九寸肩長五尺九寸身長三

尺二寸鼻下徑一尺八寸滿觀自在菩薩二鋪各五  
丈四尺廣各三丈八尺四寸四天王像四種各四丈  
大佛殿一宇二重上周一丈六尺東西長九丈廣十七  
丈基砌高七尺東西砌長一丈七尺而少砌長五丈  
六尺柱八十四枚殿戶十六間天臺三千百下二蓋步廊  
一迴戶戶同東西徑五十四丈六尺而少徑六寸丈  
塔二基並七重東塔高五丈八寸西塔高五丈六尺七寸  
露盤各八丈八尺三寸用鑿鈿七萬五千五百三斤高  
白錫四百九斤丁酉鍊金一千五百十四斤  
鐘口一丈三尺六寸口徑九尺一寸二寸口唇八寸用鑿鈿  
五萬二千六百八斤白錫二千三百斤

大佛師後四位下國土麻兒大持師後位高市真國  
後位下高市真麻呂後位下持本界玉  
大工後位下緒各部百世後位下益田繩  
石清水八幡宮護國寺

略記 三所大菩薩移出男山奉所奉奉尊像後記更  
石行教 隆慶寺業修行久送多年美而用極時欲奉  
拜大菩薩也爰以去貞觀元年春所流紫雲前廟  
宇依宮四月丁丑日奉着彼宮一夏之間復復室前  
畫轉讀大業經王夜誦念真言密教六時不折奉



東大寺大佛殿佛前板文

勅朕以清德奉最上德志在兼濟勸推人物卑卑之懷已崇仁恕而普天  
 之下未洽法恩欲欲彰三空之威靈乳坤和修万代之福業初植感業  
 皇以天平十五年歲次癸未十月十五日發善慶大行帝造盧舍那佛金  
 銅像一軀蓋圓銅而鑄像削大山下樓堂廣及法界為朕知識遠使同蒙  
 利益共致善提夫有天下之富者朕也有天下之勢者朕也此皆勢造彼皆  
 事也易成心也難至但恐徒有勞人預無能感諸知識者發至誠心各人指  
 宜每日三時盧舍那佛自當存念各造盧舍那佛像如更有人私指一  
 枚草一令土造像者勿禁勿障同進百世善令加造太政官等 勅善  
 告天下等事知藏以天平十五年歲次癸未十月十五日發善慶大行帝  
 創佛像其歲已止更以天平十七年歲次乙酉八月廿三日發大行國添上  
 奉劍門像 天皇專以那袖入去持運加於所然後召集人等運上  
 築堅淨座以天平十九年歲次丁亥九月廿九日始鑄鑄以勝

室元年歲次己丑十月廿四日鑄已畢三年八分及在鑄時以天平  
 勝室四年歲次壬辰三月十四日始鑄鑄金未畢同以同年四月九日始於大奉開  
 眼也門身又大小權頂共六流吳未明示中示教示言廣示珍室等會伺  
 盧舍那佛像一軀始鑄於坐于五丈三尺五寸五分面長一丈六尺廣九尺五寸  
 肉髻于三尺負女尺四寸五分身長三尺八寸五分面長一丈六尺廣九尺五寸  
 長八尺五寸頸長二尺六寸五分肩長二尺八寸五分胸長一丈八尺腹長一丈  
 三尺臂長一丈九尺肘至腕長一丈五尺掌長五尺六寸中指長五尺八寸腕長二丈  
 三尺八寸五分膝前徑三丈九尺膝厚七尺足下丈三尺螺形九百六十六个  
 各一尺徑各三尺六寸銅座高一丈徑六丈八尺上用世丈四寸基周長三  
 丈九尺石座高八尺上用三十四丈七尺基周卅九丈九尺用鑄銅七千三百九  
 千五百六十斤白銅一萬二千六百八十八斤鍊金一萬四百卅六兩水銅五百八十六  
 百兩炭一萬六千六百五十六斤餅固光一基三十一丈四尺厚九丈六尺伏修善  
 薩像二軀並璽各三丈四面長六尺八寸廣五尺高長二尺一寸耳長五尺九

寸身長五尺九寸身長二尺二寸鼻下徑一尺八寸備親自菩薩二鏡各五  
 丈四尺廣各三尺八尺四寸天王像四柱各四丈  
 大佛殿一宇二重十二間高十二丈六尺東西長廿九丈廣十七丈基初高七尺  
 東西初長廿二丈七尺南北初長廿丈六尺四寸殿高廿六丈六尺基初高七尺  
 步廊一廻戶廿間東西徑五十四丈六尺南北徑六丈五尺塔二基並七重  
 東塔廿三丈八寸西塔廿三丈六尺七寸落盤各八丈八尺二寸用鑄  
 銅七萬五千五百二十斤五兩白銅四百九斤十兩鍊金一千五百十四斤  
 鐘一口高一丈三尺六寸口徑九尺一寸三分口厚八寸用鑄銅五萬二千六百  
 八十斤白銅二十三斤  
 大佛師徒四位下圓土麻呂大鑄師徒五位下市真圓徒位下市真  
 麻呂徒五位下柿本男玉  
 大工徒五位下猪名部百世徒五位下益田繩平

石清水八幡文藏園寺

略記 三所大菩薩移坐男山峯即奉安置淨林緣起事  
 右行教格姓 專為業修行久遠多年矣而間恒時欲求大菩薩也夏以貞  
 觀元年春春抗紫身茶園中依天四月十五日春春彼夏之間海候室  
 茶畫移法大業徑至夜須念真言密教所不新在廻向三所大菩薩也九  
 旬已了欲淨本都之間以七月十五日夜半於初教示行宜吾深感在修  
 善教不可惡忘頃近都移坐鎮園家林可祈諸善行願故在溪  
 滿眼瞻仰之填弥倍仰始自彼十五日晝夜片時奉祈後以廿七日  
 三日到來山崎離文遠寄宿之間更倍信心祈教申云依家示現者廿七日  
 夜被示云吾移坐近都為鎮園王殿也者即撰何處可身奉置室體願奉  
 示現塔以即夜承宣可移坐之處石清水男山云峯也吾初現其起者登  
 奇以夜中向南方百餘遍身札存大菩薩之間山藏圖異方山頂和光堂  
 瑞宛如月星光照耀遍滿其間身毛堅淨伏地且致懇畏是言以昭確奉

東大寺大佛殿佛板文

初朕以薄德忝承大位志在兼濟勤撫人物雖幸走履已信仁怒而普  
 天下未洽法恩誠欲於三寶之威冥冥相修乃代之福業勅植成榮  
 壽以祿下十五年歲次癸未十月十五日會菩薩大形奉進盧舍那佛金  
 銅像一軀蓋圓銅而鑄像削大山下構堂廣及區界為朕親觀遂復同奉  
 利益教益授又有天下之富者朕也而有天下之勢者朕也以富勢造彼身  
 敬事也易成心之難至但恐徒有受人觀無感誠誠者會至誠心各人  
 招福宜每月三拜盧舍那佛自當存念逢盧舍那佛像如更有人獻  
 指一板早令王造像者勿禁勿障同進百姓勢令加造大改官奉 勅普  
 告天下奉中幼識以天平十五年歲次癸未十月十五日飛進江國信樂奉  
 到依樣其歲已止更以天平十七年歲次乙酉十月廿三日發大造圓銅之部  
 奉到同像天皇寺以御袖金持運加於御座無後召集御中人等  
 運三葉堅御座以天下十九身減以丁亥九月廿九日始奉鑄然以時

寶元二年歲次己丑十月廿四日奉鑄己卯三年公度奉鑄御板以奉鑄  
 四年歲次壬辰三月廿日始奉鑄金未畢同以同年四月九日始鑄火奉  
 同板同日奉入小造房於六條共樂羽樂中樂板案高廣案珍寶著  
 金銅盧舍那佛像一軀鑄成坐高五丈三尺五寸面長五丈六尺五寸  
 肉髻高三尺肩長五尺八寸身同長三尺九寸口長三尺七寸眼長一丈三  
 尺八寸耳長一丈九寸肘至腕長五尺五寸掌長五尺六寸中指長五尺長二  
 丈二尺守五分膝案長三丈九尺膝高七尺是下二丈二尺腰形此百六十六  
 寸各一尺往各三尺守銅座高天徑丈八寸上同九寸守卷圓九寸  
 九尺卷座高八尺上同三寸守丈七尺卷圓廿九寸入用熟銅七十三斤九  
 千五百斤斤白鐵一萬三千六百斤銀金二萬百廿兩水銅五萬五千六  
 百兩方寸六寸六分六釐同文一基高十丈八尺廣九丈二尺八分依佛黑  
 座像二軀並鑄了冬之文面長六尺廣五尺口長三尺守身長四尺九

寸肩長五尺八寸口長三尺守身下徑一尺寸鋪觀自在菩薩三鋪高各五  
 丈四尺廣各三尺守守四天王像四柱高各四丈

大佛殿一宇二重一閣高十丈六尺東西長六丈七尺其砌高七尺  
 東西長廿七尺八寸北砌長九丈又柱十段殿身六間又金三寸厚蓋  
 坐廊一迴身九間東西徑五丈六尺南北徑六丈五尺塔二卷並七  
 重東塔北之丈守西塔高九丈二尺七寸塔盤高各丈守三寸用熟  
 銅七萬五千五百斤立石兩白鐵四百九斤十兩佛金五千五百斤  
 鐵一口高一丈二寸守口徑九寸守口厚一寸用熟銅五萬二千六  
 百八十斤白鐵二千二百斤  
 大佛師從位下國士麻呂大鑄師從位下高布真國從位下高布真  
 麻呂從位下高布真國從位下高布真國從位下高布真國從位下高布真  
 大工從位下高布真國從位下高布真國從位下高布真國從位下高布真

石清水八幡宮護國寺

略記 三所大菩薩佛坐男山峯即奉坐置御板緣起事  
 右行板緣起事乃兼修行久送多身矣而用指符欲全其善德意云  
 真觀元年冬預筑紫聖前國定依宮月寺寺者服三夏高檢羅寶  
 亦書轉讀案後王夜誦念真言云教時不斷奉迎向三所菩薩也凡句  
 已了欲席本舖之間以七月十五日夜中於行殿示作登吾保感應世修  
 善故不可思慮頃近御初坐鎮護國宮世可祈請者行教歡喜也後  
 眼瞻仰之願得即自爾十五日晝夜片時奉祈請以同七日庚申八月  
 廿三日到來山神顯言邊寄宿向更信信祈所申中依夜未見者同  
 廿日即被示之吾相坐迎御乃鎮護王城也者即撰行於奉坐置寶體  
 願未成就以即夜示宜可移坐也取在清水男山寺寺之在符咒其  
 勢尋以意中向南方百餘遍奉禮拜奉置蓮之同山賊國並守山頂和光  
 瑞光如月星光照耀遍滿其同身毛髮皆化日致忘累日其光明懷香

都不得成猶汝可造即奉命旨以去實龜龜  
二年歲次辛亥四月亭諸近夫木自親往詣近  
以國信樂私御柱作備運送寺家削構造六  
箇月內其事已畢今近世年元勳也

一奉固大佛佛背所破損并尤言佛子絕去奉

右勅使僧總諸大寺三總老宿大法師等俱集會  
奉固所由商量之間經三今年心難可固遂不  
得因受僧實忠獨策愚誠亭之近不自身往至  
於伊賀私造出應奉同樣并令造雜材木雖略去  
近歷廿年中也以後廿年中上件調度材木運

上隨樣奉固嚴銘如前

一 大佛殿步廊并前後中門左右使門亦懸樣之木

造度奉

合削造材木百二枝 着度柱間百卅回

右常例備懸樣之總久經年序朽脫絕損不用由  
茲當懸備時支等暇入成奉尤近依此法師實忠  
以去近歷年中令造如件

一 梅上東塔露盤奉

露盤一具 高八丈三尺 第一層徑丈二尺

右諸調度物其室梅上至高諸工近等申之不得

梅上皆悉辭退今時實忠兼備心命親登拜各  
量其便直催之支等二三月內梅上已畢一教問也然  
中安直金字取勝王經一肆佛舍利十粒維時賢  
字八年歲次甲辰

一 奉造東西少塔殿奉

右以去神護崇雲年中為安直 佛願少塔勅  
令進殿樣而大工等造樣其醜依此法師實忠  
改大工木作樣更樣造書五尺餘上奉造如前  
依此樣訪寺時營造也

一 寺西大垣并中門右大垣同造奉

右以去近歷廿三年專寺法師實忠加檢校造回  
如件

一 造立寺北大門奉

右大門更不山作寺內散在材木取集以去近  
歷廿年中造立如件

一 堤作池一處

在東大寺而春日右以去神護元  
年所造也

一 奉造立塔一基

在新兼師寺西野以去崇雲元年  
所造也

右二種奉義僧心命奉為國家奉造如前

一 奉仕寺家造瓦別當奉

合三箇年 自寶龜十一年近歷元年

東寺之表<sup>居千</sup>許地<sup>居千</sup>信正令<sup>居千</sup>修<sup>居千</sup>化<sup>居千</sup>河<sup>居千</sup>寺<sup>居千</sup>多  
 有<sup>居千</sup>如<sup>居千</sup>事<sup>居千</sup>。勝<sup>居千</sup>計<sup>居千</sup>。乞<sup>居千</sup>劍<sup>居千</sup>。一地<sup>居千</sup>命<sup>居千</sup>与<sup>居千</sup>人<sup>居千</sup>寺<sup>居千</sup>少  
 并<sup>居千</sup>持<sup>居千</sup>戒<sup>居千</sup>名<sup>居千</sup>鏡<sup>居千</sup>益<sup>居千</sup>有<sup>居千</sup>快<sup>居千</sup>行<sup>居千</sup>古<sup>居千</sup>化<sup>居千</sup>道<sup>居千</sup>通<sup>居千</sup>運<sup>居千</sup>在<sup>居千</sup>以<sup>居千</sup>運<sup>居千</sup>以<sup>居千</sup>禮  
 狀<sup>居千</sup>自<sup>居千</sup>余<sup>居千</sup>。後<sup>居千</sup>一<sup>居千</sup>門<sup>居千</sup>重<sup>居千</sup>水<sup>居千</sup>化<sup>居千</sup>信<sup>居千</sup>正<sup>居千</sup>房<sup>居千</sup>作<sup>居千</sup>分<sup>居千</sup>岡<sup>居千</sup>下<sup>居千</sup>。石<sup>居千</sup>一  
 汗<sup>居千</sup>丈<sup>居千</sup>信<sup>居千</sup>。全<sup>居千</sup>著<sup>居千</sup>山<sup>居千</sup>吏<sup>居千</sup>胸<sup>居千</sup>指<sup>居千</sup>來<sup>居千</sup>。

又 西<sup>居千</sup>堂<sup>居千</sup>自<sup>居千</sup>北<sup>居千</sup>才<sup>居千</sup>三<sup>居千</sup>。是<sup>居千</sup>院<sup>居千</sup>修<sup>居千</sup>部<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。改<sup>居千</sup>名<sup>居千</sup>京  
 松<sup>居千</sup>院<sup>居千</sup>矣<sup>居千</sup>。信<sup>居千</sup>約<sup>居千</sup>古<sup>居千</sup>以<sup>居千</sup>不<sup>居千</sup>交<sup>居千</sup>中<sup>居千</sup>海<sup>居千</sup>院<sup>居千</sup>勝<sup>居千</sup>上<sup>居千</sup>院<sup>居千</sup>地<sup>居千</sup>不<sup>居千</sup>。能  
 現<sup>居千</sup>鬼<sup>居千</sup>者<sup>居千</sup>。飛<sup>居千</sup>着<sup>居千</sup>摺<sup>居千</sup>衣<sup>居千</sup>。將<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>因<sup>居千</sup>海<sup>居千</sup>法<sup>居千</sup>華<sup>居千</sup>後<sup>居千</sup>打<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>。幕  
 古<sup>居千</sup>同<sup>居千</sup>馬<sup>居千</sup>道<sup>居千</sup>言<sup>居千</sup>宿<sup>居千</sup>眠<sup>居千</sup>息<sup>居千</sup>人<sup>居千</sup>。言<sup>居千</sup>何<sup>居千</sup>見<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>主<sup>居千</sup>睡<sup>居千</sup>時<sup>居千</sup>在<sup>居千</sup>後  
 地<sup>居千</sup>身<sup>居千</sup>力<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。就<sup>居千</sup>為<sup>居千</sup>救<sup>居千</sup>主<sup>居千</sup>。下<sup>居千</sup>天<sup>居千</sup>下<sup>居千</sup>早<sup>居千</sup>地<sup>居千</sup>民<sup>居千</sup>相  
 憂<sup>居千</sup>。修<sup>居千</sup>部<sup>居千</sup>慨<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。說<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>。修<sup>居千</sup>降<sup>居千</sup>雨<sup>居千</sup>不<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>。卷<sup>居千</sup>天<sup>居千</sup>。早<sup>居千</sup>与<sup>居千</sup>雨  
 龍<sup>居千</sup>進<sup>居千</sup>。天<sup>居千</sup>非<sup>居千</sup>地<sup>居千</sup>。祇<sup>居千</sup>仗<sup>居千</sup>修<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。以<sup>居千</sup>余<sup>居千</sup>信<sup>居千</sup>上<sup>居千</sup>人<sup>居千</sup>。令<sup>居千</sup>相<sup>居千</sup>梅  
 之<sup>居千</sup>。降<sup>居千</sup>雨<sup>居千</sup>。云<sup>居千</sup>下<sup>居千</sup>雨<sup>居千</sup>。若<sup>居千</sup>我<sup>居千</sup>。拒<sup>居千</sup>死<sup>居千</sup>。跌<sup>居千</sup>吾<sup>居千</sup>。而<sup>居千</sup>後<sup>居千</sup>。世<sup>居千</sup>下<sup>居千</sup>雨<sup>居千</sup>。付  
 可<sup>居千</sup>有<sup>居千</sup>。云<sup>居千</sup>。修<sup>居千</sup>。了<sup>居千</sup>。火<sup>居千</sup>。中<sup>居千</sup>。雲<sup>居千</sup>。雨<sup>居千</sup>。大<sup>居千</sup>。至<sup>居千</sup>。于<sup>居千</sup>。時<sup>居千</sup>。就<sup>居千</sup>。而<sup>居千</sup>。与<sup>居千</sup>。雨<sup>居千</sup>。俱  
 降<sup>居千</sup>。信<sup>居千</sup>。部<sup>居千</sup>。見<sup>居千</sup>。之<sup>居千</sup>。也<sup>居千</sup>。後<sup>居千</sup>。矣<sup>居千</sup>。流<sup>居千</sup>。

一 東塔院  
 古<sup>居千</sup>寺<sup>居千</sup>寶<sup>居千</sup>塔<sup>居千</sup>一<sup>居千</sup>基<sup>居千</sup> 高廿二丈八寸塔四面各五石塔六  
五回廊 今化  
 天平勝安元年三月三日建之  
 西塔院 高廿二丈八寸  
 天平勝安元年閏三月廿三日也

長保二年十月十九日地塔三重并正法院施土具  
 備寺在法院燒土出<sup>居千</sup>。

又 永平甲申甲午在古寺地塔燒土

一 東山塔院  
 永治元年丁未造東山塔堂宮日也  
 不<sup>居千</sup>建<sup>居千</sup>。天<sup>居千</sup>平<sup>居千</sup>安<sup>居千</sup>字<sup>居千</sup>公<sup>居千</sup>年<sup>居千</sup>甲<sup>居千</sup>辰<sup>居千</sup>秋<sup>居千</sup>九<sup>居千</sup>月<sup>居千</sup>首<sup>居千</sup>孝<sup>居千</sup>法<sup>居千</sup>天  
 皇<sup>居千</sup>造<sup>居千</sup>一<sup>居千</sup>百<sup>居千</sup>萬<sup>居千</sup>山<sup>居千</sup>塔<sup>居千</sup>分<sup>居千</sup>配<sup>居千</sup>十<sup>居千</sup>丈<sup>居千</sup>。古<sup>居千</sup>若<sup>居千</sup>就<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。取<sup>居千</sup>汗<sup>居千</sup>光  
 院<sup>居千</sup>。羅<sup>居千</sup>友<sup>居千</sup>摺<sup>居千</sup>布<sup>居千</sup>。口<sup>居千</sup>信<sup>居千</sup>未<sup>居千</sup>及<sup>居千</sup>祝<sup>居千</sup>殊<sup>居千</sup>。不<sup>居千</sup>憾<sup>居千</sup>悔<sup>居千</sup>種<sup>居千</sup>。

一 東布院  
 貞和十七年乙未正法院信正造東布院捨枝<sup>居千</sup>。信<sup>居千</sup>修<sup>居千</sup>  
 房<sup>居千</sup>內<sup>居千</sup>女<sup>居千</sup>名<sup>居千</sup>意<sup>居千</sup>葉<sup>居千</sup>師<sup>居千</sup>之<sup>居千</sup>。 五王御所  
 延和甲申甲子乙未古寺到南律師道信伯氏人也  
 大寺寺正宣角在法院本名香積。仍東  
 大寺布大門東脇修院新物重作。一日一夜向丈  
 三百。以是堂名在布院曰三王律師造。正  
 法院信正。本寺大寺寺在法院。別南東布院  
 充田地了。  
 布中門  
 延和二年壬戌正法院信正中門世養卷同  
 雲長法信子二百余人即古勅物。

第二圖 東大寺本『東大寺要録』卷四諸院章第四「東塔院」・「西塔院」 東大寺所藏

胜長二丈三尺八寸五分膝前任三丈九尺膝原七尺足下  
 一丈二尺探取九百六十六箇高若一尺任若六寸餉庄高  
 一丈任六丈八尺上周廿丈四尺基周廿三丈九尺石序高八尺  
 上周廿四丈七尺基周廿九丈五尺用契餉七十三万九千九  
 百六十斤白錫一万二千六百八十八斤鍊金一万四百四十六兩  
 銀五万八千六百廿五庄一萬六千六百五十二斤同先一長  
 高十一丈四尺庄九丈六尺換侍并像二并並塔高若三丈  
 而長六尺庄五尺口長一尺一寸了長五尺九寸肩長五尺九  
 寸目長二尺二寸鼻下任一尺八寸餉觀自在并像二并餉高  
 若五丈四尺庄各三丈八尺四寸曰天竺像四柱高若四丈若  
 下在兜形一梓各外長三丈大併殿一字二堂十一間高十  
 二丈六尺東西長廿九丈庄十七丈基初高七尺東白伽長  
 廿二丈七尺而比伽長廿丈六尺柱八十四枚殿戶十六間天臺  
 三千百廿二蓋步廊一四戶廿間東面任五十四丈六尺而比  
 任六十五丈  
 塔二基並七堂東塔高廿三丈八寸西塔高廿三丈六尺七寸  
 露盤高八丈八寸二寸用契餉七十五千五百二十斤五兩白錫  
 四百九斤十兩鍊金一千五百十五兩各鐘一口高一丈三尺六  
 寸口徑九尺一寸三分口厚八寸用契餉五万二千六百八十斤  
 白錫二千三百斤

第一圖 醍醐寺本『東大寺要録』卷二縁起章第二「大仏殿碑文」(部分) 醍醐寺所蔵

# 図版出典目録

図番号	出典・所蔵等
第1～19図	奈文研の研究成果にもとづき文建協作図。一部調整。
第20図	東大寺所蔵。奈文研撮影。1：500に縮小。
第21図	奈良県所蔵・提供。1：500に縮小。
第22～29図	東大寺所蔵・提供。
第30図	東大寺所蔵・提供（北野陽子描画）。
第31図	『東大寺東塔院跡 境内史跡整備事業に係る発掘調査概報1』東大寺、2018、14～15頁、図12にもとづき作成。
第32～36図	東大寺所蔵。奈良国立博物館提供。
第37図	朝護孫子寺所蔵・提供。
第38・39図	家原寺所蔵。奈良国立博物館提供。
第40～42図	東京国立博物館所蔵・提供。
第43図	奈良県所蔵。奈文研撮影。
第44図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面113・114頁にもとづき作成。
第45図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面121・122頁にもとづき作成。
第46図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面125頁にもとづき作成。
第47図	『国宝室生寺五重塔（災害復旧）修理工事報告』奈良県教育委員会、2000、図面第一一・一二図にもとづき作成。
第48図	『国宝室生寺五重塔（災害復旧）修理工事報告』奈良県教育委員会、2000、42頁、第22図にもとづき作成。
第49図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面136・137頁にもとづき作成。
第50図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面158頁にもとづき作成。
第51図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面165・166頁にもとづき作成。
第52図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面172・173頁にもとづき作成。
第53図	浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』薬師寺、1981、132・133頁、図版東塔の部43・44にもとづき作成。
第54図	浅野清『薬師寺東塔に関する調査報告書』薬師寺、1981、144・145頁、図版東塔の部55・56にもとづき作成。
第55図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面185・186頁にもとづき作成。
第56図	奈良県所蔵・提供。1：100に縮小。
第57図	『日本建築史基礎資料集成11塔婆Ⅰ』中央公論美術出版、1984、図面190・191頁にもとづき作成。
第58図	奈良県所蔵・提供。1：100に縮小。

図番号	出典・所蔵等
第 59 図	『日本建築史基礎資料集成12塔婆Ⅱ』中央公論美術出版、1999、図面130・131頁にもとづき作成。
第 60 図	『日本建築史基礎資料集成12塔婆Ⅱ』中央公論美術出版、1999、図面136・137頁にもとづき作成。
第 61 図	『国宝向上寺三重塔修理工事報告書』国宝向上寺三重塔修理委員会、1963、図面第三・五図にもとづき作成。
第 62 図	『国宝唐招提寺金堂修理工事報告書 [本編 2]』奈良県教育委員会、2009、936頁、第13-1図にもとづき作成。
第 63 図	『佛光寺東大殿堂建築勘察研究報告』文物出版社、2011、276・277頁、実測図五にもとづき作成。
第 64 図	『国宝・重要文化財（建造物）実測図集（奈良県その2）』文化庁、1971、158頁、奈良807にもとづき作成。
第 65 図	『国宝金峯山寺本堂修理工事報告書』奈良県教育委員会、1984、図面第五図にもとづき作成。
第 66 図	『重要文化財教王護国寺東大門ほか三棟修理工事報告書』京都府教育庁指導部文化財保護課、2013、図面12頁、図面5にもとづき作成。
第 67～72 図	文化庁所蔵。東大寺提供。キャプション記載の縮尺に縮小。
第 73 図	『国宝東大寺鐘楼修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一・一一図にもとづき作成。
第 74 図	『国宝東大寺鐘楼修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第八・一〇図にもとづき作成。
第 75 図	『国宝東大寺鐘楼修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第七・九図にもとづき作成。
第 76 図	『国宝東大寺鐘楼修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一三図にもとづき作成。
第 77 図	『国宝東大寺鐘楼修理工事報告書』奈良県文化財保存事務所、1967、図面第一二図にもとづき作成。
第一図	醍醐寺所蔵・提供（『東大寺叢書 1 東大寺要録一』87-88頁、東大寺、2018）。
第二図	東大寺所蔵・提供（『東大寺叢書 2 東大寺要録二』100-103頁、東大寺、2019）。
第三図	東大寺所蔵・提供（『東大寺叢書 3 東大寺要録三』24-27頁、東大寺、2023）。
第四図	国文学研究資料館所蔵・提供。
第五図	宮内庁書陵部所蔵・提供。
第六図	神宮文庫所蔵。奈文研撮影。
第七図	宮内庁所蔵・提供。
第八図	国立公文書館内閣文庫所蔵・提供。
第九図	東京国立博物館所蔵。奈文研撮影。
第一〇～一二図	神宮文庫所蔵。奈文研撮影。
第一三図	天理大学附属天理図書館所蔵・提供。
第一四図	宮内庁書陵部所蔵・提供。
第一五図	奈良国立博物館所蔵・提供。

# 構造解析資料

# 構造解析資料

例言	(1)
天平塔 復元原案	(5)
興福寺五重塔	(119)
天平塔 内部柱検討案	(191)

本資料は、東大寺から委託を受けた公益財団法人文化財建造物保存技術協会が、株式会社立石構造設計に再委託して実施した、東大寺東塔の復元研究に係る構造解析の結果をまとめたものである。

本報告書に収録するにあたり、公益財団法人文化財建造物保存技術協会ならびに株式会社立石構造設計が構造解析資料を作成し、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所が体裁を整えた。なお、「例言」については株式会社立石構造設計からの聞き取りなどにもとづき、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所 山本光良が作成した。

## 例 言

本資料は、東大寺から委託を受けた公益財団法人文化財建造物保存技術協会(以下、「文建協」と略称する)が、株式会社立石構造設計(以下、単に「立石構造設計」と称する)に再委託して実施した、東大寺東塔の復元研究に係る構造解析の結果をまとめたものである。

構造解析は、天平塔の復元原案・内部柱検討案、興福寺五重塔を対象におこない、その成果を各案・建物ごとにまとめた。それぞれ、軸部・組物・軒に関する検討、応力図、添付資料で構成される。軸部・組物・軒に関する検討には、各部材についての検討方法・前提条件・検討結果などをまとめた。応力図は、後述する架構解析で作成したもので、塔身全体とその隅行き方向の曲げモーメント図と、各重の曲げモーメント図・せん断力図をまとめた。添付資料には、後述するFEM解析で作成した側柱盤および地垂木に関する各種の図をまとめた。

以下では、構造解析における前提条件、方法や各種の設定・仕様などについて述べる。

### i 前提条件

各建物の各部の納まりや仕様は、原則として文建協作成の図面による。構造解析における前提条件は、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所(以下、「奈文研」と略称する)・文建協・立石構造設計で協議して設定した。

荷重は、長期荷重(固定荷重)のみを扱う。木材は、良材を想定して曲げに対する基準強度などを割り増した。すなわち、今回用いた木材の基準強度や許容応力度は、本検討用のものである。部材の断面欠損や継手による影響は考慮していない。検定比については、許容値(許容する上限値)を設定した。天平塔の樹種はすべてヒノキと仮定したが、参考として、大斗と隅行一の肘木はケヤキでも検討した。天平塔の復元原案の地垂木は、参考として、剛性低下を考慮した場合でも検討した。各案・建物の一の肘木の曲げ検定比の算出については、平・隅とも大斗幅を考慮し、大斗心ではなく大斗側面での曲げモーメントを用いた。各相輪重量および天平塔の軒風鐸の重量は、奈文研の推定などにもとづく。

なお、興福寺五重塔では、荷重の設定、構造モデルや各部の納まりなど、細部に拘泥していない。そのため、興福寺五重塔についてはおよその性状の把握に留まり、天平塔に比べ定性的な検討である。天平塔の内部柱検討案では、内部柱の柱盤および六重の四の肘木上にある束踏の曲げ・せん断に関する検討もおこなったが、めり込みに関する検討および飛檐垂木と飛檐隅木に関する検討はおこなっていない。

### ii 方法・各種の設定・仕様

#### a 検定比の算出

各部材の検定比は、許容応力度と各部材に生じる応力度にもとづき算出した。各部材に生じる応力は、天平塔および興福寺五重塔の図面にもとづいて構造モデルを作成の上、荷重を設定して構造解析ソフトなどを用いて把握した。

#### b 許容値の設定

圧縮・曲げ・せん断に対する検定比の許容値は、先行研究<sup>1)</sup>から、検定比1.45で各部材が100年程度は保ち得ると考えられるため、1.45に設定した。めり込みに対する許容値については、検

表1 木材の検討用の基準強度と許容応力度

単位：N/mm<sup>2</sup>

項目	樹種	基準強度	許容応力度
圧縮	ヒノキ	Fc 20.7	lfc 7.6
	ケヤキ	21.0	7.7
曲げ	並列材以外 ヒノキ	32.04	10.7
	ケヤキ	Fb 35.28	lfb 11.8
	並列材 (ヒノキのみ)	36.85	12.3
せん断	ヒノキ	Fs 2.1	lfs 1.05
	ケヤキ	3.0	1.50
めり込み	ヒノキ	Fcv 7.8	lfcv 3.9
	ケヤキ	10.8	5.4

基準強度は無等級材を準用し、曲げ基準強度は1.2倍、並列材はさらにその1.15倍とした。せん断許容応力度は1.5倍とした。

定比が1.00を超える場合の、検定比と破壊までの荷重継続時間との関係が判然としないため、建築基準法通り1.00とした。

**c 樹種および基準強度と許容応力度**

**樹種** 天平塔の樹種は、前述したようにヒノキと仮定した。興福寺五重塔の樹種は、各部材の樹種(ヒノキ・ケヤキ)に応じて設定したが、不明な部材はヒノキと仮定した。

**基準強度** 基準強度は、原則として建築基準法の無等級材を準用した<sup>2)</sup>。無等級材は、日本農林規格(JAS)に定められていない木材である。先行研究<sup>3)</sup>によれば、古材は無等級材の基準強度を上回る場合がある。ここでは良材を想定することから、これらの先行研究を参考に、原則として曲げに対する基準強度を無等級材の1.2倍に設定した(表1)。また、地垂木・飛檐垂木は、建築基準法を準用し、並列材とみて、曲げに対する基準強度を1.15倍した<sup>4)</sup>。すなわち、並列材の曲げに対する基準強度は、原則として無等級材の1.38倍(=1.2×1.15)となる。

**許容応力度** 許容応力度は、原則として建築基準法を準用して算出した<sup>5)</sup>。長期荷重のみを扱うことから、ここでは長期許容応力度のみを用いる。せん断に対する許容応力度は、良材を想定することから、日本建築学会の規準<sup>6)</sup>を準用し、原則として1.5倍に設定した。本検討における各応力に対する許容応力度の算出方法は、以下の通りである<sup>7)</sup>。

- ・圧縮(lfc) :  $1.1 \times Fc/3$
- ・曲げ(lfb) :  $Fb/3$
- ・せん断(lfs) :  $Fs/3 \times 1.5$
- ・めり込み(lfcv) :  $1.5 \times Fcv/3$

**d 応力の算出**

各部材に生じる応力は、架構解析(一貫構造計算プログラムSEIN La CREA)の結果を採用した。ただし、側柱盤および地垂木に生じる応力は、FEM解析(汎用構造解析ソフトMidas-iGen)による。また、飛檐垂木に生じる応力は表計算により、飛檐隅木に生じる応力は手計算による。架構解析とFEM解析による応力は、曲げモーメント図やせん断力図などを作成して図化した。

#### e 構造モデルの設定

**モデル化による簡略化** 構造モデルは、各部材を線材に置換して作成した。そのため、近接する水平材、例えば柱盤や母屋桁などは、構造モデル上は一材として簡略化される。部材を線材に置換することで、各部材の納まりに若干の齟齬が生じるが、構造モデル上で調整した。そのため、組物の手先間隔など、図面と誤差が生じる部分もあるが、構造解析の大勢に影響はないと判断した。また、対象が層塔であるため、通減にともない上下部材の平面位置が揃わない場合があるが、各部材断面が平面的に少しでも重複する場合は、平面位置が揃う構造モデルとして簡略化した。興福寺五重塔の面戸造り出しの肘木など、部材間に隙間がなく重なる場合があるが、構造モデル上はこれらを一材とせず別材として扱った。

**モデル化の種類** モデル化には、部材を架構としてモデル化する場合と荷重としてモデル化する場合がある。天平塔と興福寺五重塔とでは、地垂木の鼻先など、部分的にモデル化の内容が異なる<sup>8)</sup>。荷重としてモデル化した場合、応力図には線材として表現されないため、同部材でも、天平塔と興福寺五重塔とで架構モデルが異なる場合がある。これは、構造解析の実務的な手順による相違であり、どちらの場合でも構造解析の大勢に影響はないと判断した。

#### f 応力図の仕様

各重の応力図は、一貫構造計算プログラムSEIN La CREAの出力の仕様により、当該層の特定の柱筋で表示されたものであり、柱筋が異なる上下層の部材などが表示されない場合がある。そのため、架構としてモデル化されていても、応力図に表れない部材がある。また、塔身全体の曲げモーメント図では、原則としてすべての部材の曲げモーメントが表示されているため、柱などの垂直方向の部材に生じる曲げモーメント<sup>9)</sup>が表れる場合がある。一方で、各重の応力図では垂直方向以外の部材の応力が表示されている。これらは、応力が小さい場合、視認できるように強調表示されるため、図の表示と応力の大きさは必ずしも一致しない。柱は圧縮力に対する検討のみであるが、その曲げモーメントはほかの部材に比べて小さく、構造として問題ないと判断した。なお、塔身全体の平の曲げモーメント図は、全体の概略を把握するために各重の曲げモーメント図から合成したものである。

#### g 地垂木の応力図と参考としての検討

**架構解析とFEM解析による相違** 架構解析による地垂木の応力図は、地垂木1本分ではなく、並列材として近傍にある地垂木複数本分の応力をまとめて示したものである。そのため、地垂木については、FEM解析によって地垂木1本分の応力を示した応力図を作成した。

**参考としての検討** 前提条件で述べたように、天平塔の復元原案の地垂木は、参考として、剛性低下を考慮した場合でも検討した。検定比が許容値を超える層(初重～四重)の地垂木について、剛性が80%に低下すると仮定し、側柱盤からの荷重が配分された場合の検討もおこなった。これは、並列材である地垂木が側柱盤からの荷重によって垂下した場合、近傍の地垂木がその荷重を負担し、地垂木全体で部材を支持するという考え方によるものである。

#### iii 建物重量

建物重量は、各部位で荷重を設定することにより構造解析プログラムによって自動計算される。木材の密度や部位ごとの単位面積あたりの荷重の設定は、表2に掲げた通りである。これにもとづいて自動計算した各建物重量は、表3に掲げた。組物や軒先の一部および隅棟や軒風鐸な

表2 設定した木材の密度と単位面積あたりの荷重

密度 [t/m <sup>3</sup> ]		荷 重 [kgf/m <sup>2</sup> ]				備 考
ヒノキ	ケヤキ	地垂木	裏板 (軒)	屋根	壁	
0.45	0.69	47.3	11.1	470.0	160.0	屋根荷重は瓦と葺土等。

表3 各建物重量と内訳

単位: tf

名 称	架構モデル	荷重モデル				計
	木 部	屋 根	壁	相 輪	その他	
天平塔 復元原案	419.1	1,397.3	72.0	27.0	391.6	2,307.0
興福寺五重塔	196.1	603.9	37.0	6.4	281.6	1,125.0
天平塔 内部柱検討案	425.3	1,397.3	72.0	27.0	391.6	2,313.2

相輪以外は構造解析プログラムによる自動計算値。「その他」は組物や軒先の一部および隅棟や軒風鐸などの荷重モデル化部分。

どは、架構としてではなく荷重としてモデル化し、それらの重量は「その他」にまとめた。相輪は、その荷重を心柱が受けるよう設定した。

建物重量は、天平塔の復元原案が計2,307.0tf、興福寺五重塔が計1,125.0tf、天平塔の内部柱検討案が2,313.2tfである。瓦下地は、全体を葺土(ベタ葺き)と想定した。天平塔の軒風鐸は、各重四隅の飛檐隅木鼻に懸垂されるものとし(計28個)、重量は12kgf/個とした。興福寺五重塔の軒風鐸は、現状で失われたものもあるが、各重四隅の飛檐隅木鼻に懸垂されるものとし(計20個)、重量は仮に天平塔の軒風鐸に倣った。

註

- 1) 杉山英男「Clouser 実験式(含水率6%)」『建築構造学大系22 木構造』134頁、彰国社、1971。
- 2) 建築基準法にもとづく告示である平成12年建設省告示第1452号にて、圧縮・引張・曲げ・せん断に対する基準強度が示される。めり込みに対する基準強度は、平成13年国土交通省告示第1024号に示される。
- 3) 小原二郎「木材の老化に関する研究(第1報) 法隆寺建築古材の機械的性質」『西京大学学術報告農学』(2)、116-131頁、西京大学農学部、1952。  
『奈良D計画ヒノキ材品質管理試験結果報告書』文化財建造物保存技術協会、1997。  
『薬師寺東塔における地垂木(ヒノキ)、大斗(ケヤキ)の材料試験』文化財建造物構造実験データ集、文化庁、作成日不詳([https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hogofukyu/pdf/92048001\\_02.pdf](https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/hogofukyu/pdf/92048001_02.pdf) 2020年8月26日閲覧)。
- 4) 平成12年建設省告示第1452号にもとづく。
- 5) 建築基準法施行令第89条と平成13年国土交通省告示第1024号にもとづく。
- 6) 『木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法(第4版)』日本建築学会、2006。
- 7) 許容応力度は、想定する荷重継続時間によって異なり、長時間であるほど小さい。今回の曲げ・せん断に対する許容応力度は、荷重継続時間を250年と想定した場合のものである。
- 8) 現在の興福寺五重塔には枯木が存在する。枯木は、本検討では構造解析の目的や納まりなどを踏まえ、屋根の荷重に含まれるものとみて、原則として架構ではなく荷重としてモデル化した。
- 9) 上重の側柱などは、構造モデル上では勾配のある面に立つため、柱頭に水平力が生じる。これと柱下端の接合モデルなどから、長期荷重に対しても柱などの垂直方向の部材に曲げモーメントが生じる場合がある。

# 天平塔 復元原案

## 1 軸部の検討

1-1 柱の圧縮に関する検討

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

1-3 台輪のめり込みに関する検討

## 2 組物の検討

2-1 大斗のめり込みに関する検討

2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

## 3 軒の検討

3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

## 4 応力図

4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

添付資料3 FEM解析による地垂木の応力-変形 柱盤反力再配分

添付資料4 FEM解析による柱盤の応力-変形 地垂木剛性低下考慮

## 1 軸部の検討

### 1-1 柱の圧縮に関する検討

#### 1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。  
すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱	入側柱	四天柱
七重	0.07	なし	0.10
六重	0.08	0.28	なし
五重	0.12	0.40	なし
四重	0.12	0.46	0.31
三重	0.12	0.77	0.42
二重	0.14	0.99	0.50
初重	0.19	0.37	0.16

なお、圧縮の強度比と荷重継続時間の関係は、曲げとほぼ同じとされており、許容値は1.45となる。天平塔の柱は、100年程度は保ち得ると考えられる。

#### 2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ
- ・圧縮基準強度  $F_c$  20.7 N/mm<sup>2</sup>（告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値）
- ・長期に生じる力に対する圧縮許容応力度  $1.1 \times F_c / 3 = 7.6$  N/mm<sup>2</sup>  
（建築基準法施行令第89条に示される数値）
- ・長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】

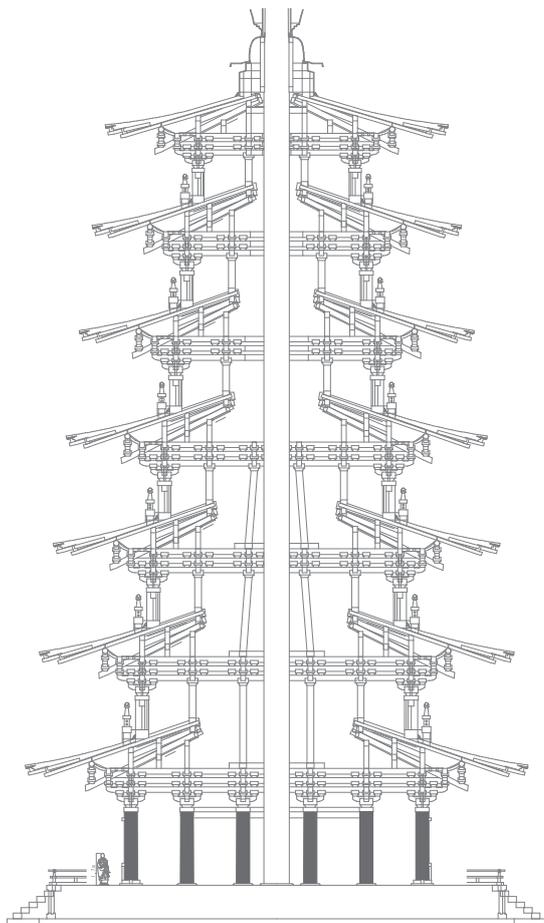
側柱、入側柱、四天柱とも

寸法  $\phi 708 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 708^2 \pi / 4 = 393692 \text{ mm}^2$

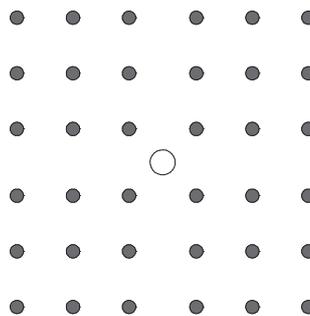
柱長さ  $3806 \text{ mm}$ 、断面二次半径  $708/4 = 177 \text{ mm}$ 、

細長比  $\lambda$   $3806/177 = 21.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 393692 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2988 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

455	568	538	538	568	455
568	1103	675	675	1103	568
538	675	480	480	675	538
538	675	480	480	675	538
568	1103	675	675	1103	568
455	568	538	538	568	455

検定比一覧

0.15	0.19	0.18	0.18	0.19	0.15
0.19	0.37	0.23	0.23	0.37	0.19
0.18	0.23	0.16	0.16	0.23	0.18
0.18	0.23	0.16	0.16	0.23	0.18
0.19	0.37	0.23	0.23	0.37	0.19
0.15	0.19	0.18	0.18	0.19	0.15

最大検定値

**【二重柱】**

**側 柱**(円柱)

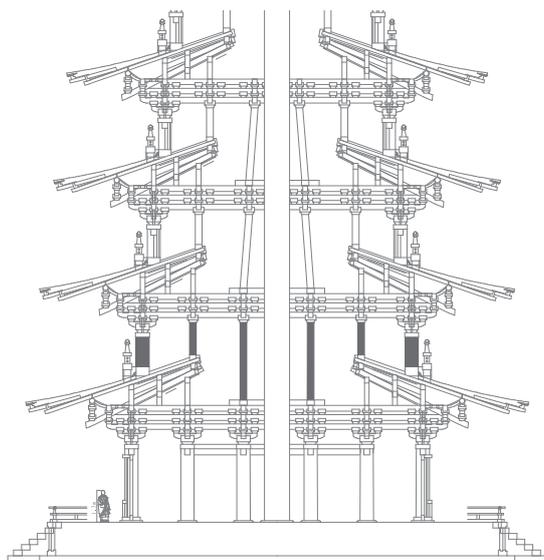
寸法  $\phi 693$  mm、全断面積 =  $693^2 \pi / 4 = 377187 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1564 mm、断面二次半径  $693/4 = 173$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1564/173 = 9.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 377187 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2863 \text{ kN}$

**入側柱**(角柱)

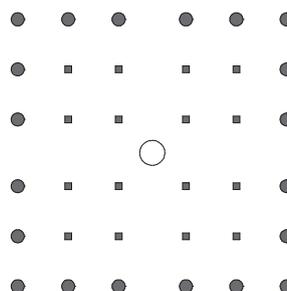
寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1721 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1721/102 = 16.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$

**四天柱**(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 4115 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $4115/102 = 40.3$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 40.3 = 0.90$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.90 \times 10^{-3} = 853 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

360	396	415	415	396	360
396	940	537	537	940	396
415	537	425	425	537	415
415	537	425	425	537	415
396	940	537	537	940	396
360	396	415	415	396	360

検定比一覧

0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
0.14	0.99	0.56	0.56	0.99	0.14
0.14	0.56	0.50	0.50	0.56	0.14
0.14	0.56	0.50	0.50	0.56	0.14
0.14	0.99	0.56	0.56	0.99	0.14
0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13

最大検定値

【三重柱】

側柱(円柱)

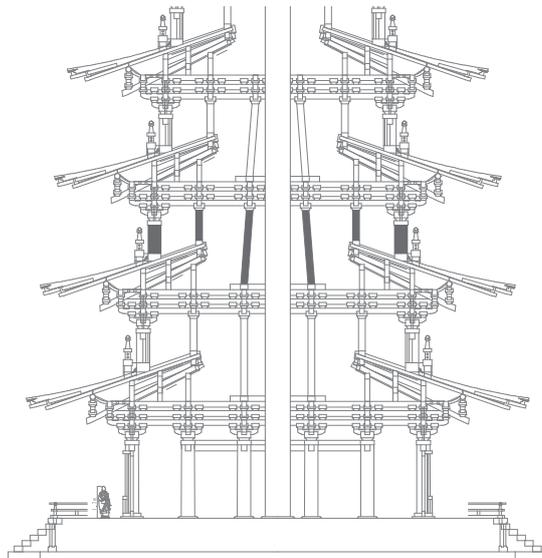
寸法  $\phi 678$  mm、全断面積 =  $678^2 \pi / 4 = 361035 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1505 mm、断面二次半径  $678/4 = 170$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1505/170 = 8.9$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 361035 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2740 \text{ kN}$

入側柱(角柱)

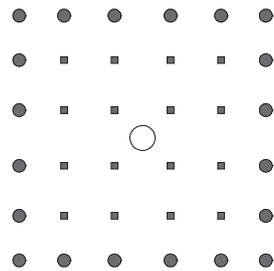
寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1592 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102 \text{ mm}$ 、  
 細長比  $\lambda$   $1592/102 = 15.6$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$

四天柱(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 3920 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102 \text{ mm}$ 、細長比  $\lambda$   $3920/102 = 38.4$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 38.4 = 0.92$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 872 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

325	321	323	323	321	325
321	733	388	388	733	321
323	388	370	370	388	323
323	388	370	370	388	323
321	733	388	388	733	321
325	321	323	323	321	325

検定比一覧

0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
0.12	0.77	0.41	0.41	0.77	0.12
0.12	0.41	0.42	0.42	0.41	0.12
0.12	0.41	0.42	0.42	0.41	0.12
0.12	0.77	0.41	0.41	0.77	0.12
0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

最大検定値

**【四重柱】**

**側 柱**(円柱)

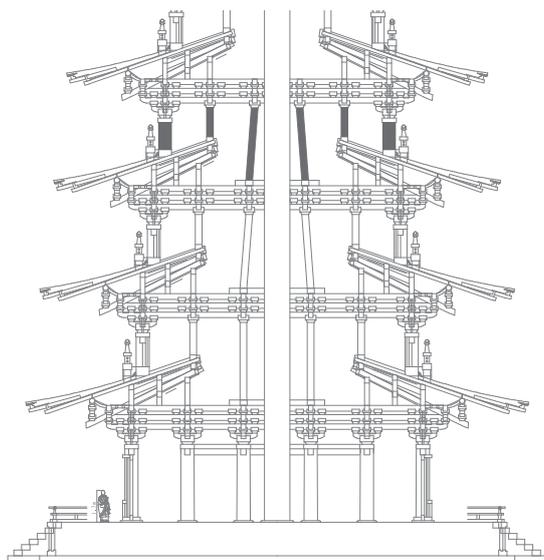
寸法  $\phi 664$  mm、全断面積 =  $664^2 \pi / 4 = 346279$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1446 mm、断面二次半径  $664/4 = 166$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1446/166 = 8.7$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 346279 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2628$  kN

**入側柱**(角柱)

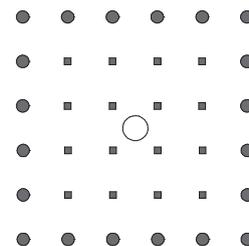
寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1546 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1546/102 = 15.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$  kN

**四天柱**(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 3861 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $3861/102 = 37.8$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 37.8 = 0.92$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 877$  kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

323	295	284	284	295	323
295	437	230	230	437	295
284	230	271	271	230	284
284	230	271	271	230	284
295	437	230	230	437	295
323	295	284	284	295	323

検定比一覧

0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
0.11	0.46	0.24	0.24	0.46	0.11
0.11	0.24	0.31	0.31	0.24	0.11
0.11	0.24	0.31	0.31	0.24	0.11
0.11	0.46	0.24	0.24	0.46	0.11
0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12

最大検定値

**【五重柱】**

**側 柱(円柱)**

寸法  $\phi 649$  mm、全断面積 =  $649^2 \pi / 4 = 330810 \text{ mm}^2$

柱長さ 1387 mm、断面二次半径  $649/4 = 162$  mm、

細長比  $\lambda$   $1387/162 = 8.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 330810 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2511 \text{ kN}$

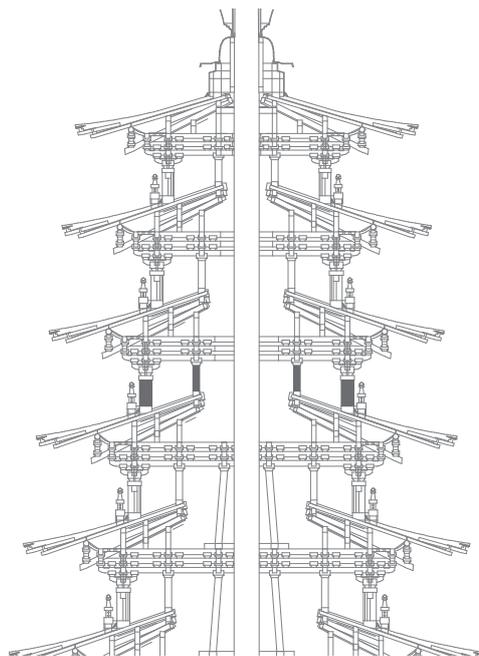
**入側柱(角柱)**

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

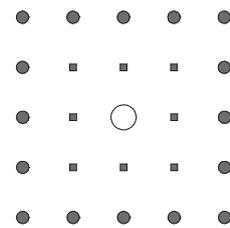
柱長さ 1383 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、

細長比  $\lambda$   $1383/102 = 13.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

264	313	298	313	264
313	385	297	385	313
298	297		297	298
313	385	297	385	313
264	313	298	313	264

検定比一覧

0.11	0.12	0.12	0.12	0.11
0.12	0.40	0.31	0.40	0.12
0.12	0.31		0.31	0.12
0.12	0.40	0.31	0.40	0.12
0.11	0.12	0.12	0.12	0.11

最大検定値

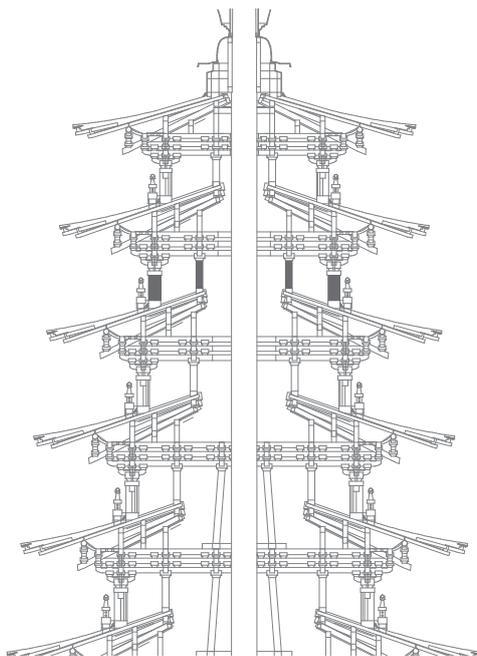
**【六重柱】**

**側 柱 (円柱)**

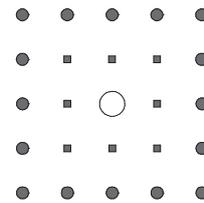
寸法  $\phi 634$  mm、全断面積 =  $634^2 \pi / 4 = 315696$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1328 mm、断面二次半径  $634/4 = 159$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1328/159 = 8.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 315696 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2396$  kN

**入側柱 (角柱)**

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1465 mm、断面二次半径  $354 / (2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1465/102 = 14.3$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$  kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

199	176	182	176	199
176	264	178	264	176
182	178		178	182
176	264	178	264	176
199	176	182	176	199

検定比一覧

0.08	0.07	0.08	0.07	0.08
0.07	0.28	0.19	0.28	0.07
0.08	0.19		0.19	0.08
0.07	0.28	0.19	0.28	0.07
0.08	0.07	0.08	0.07	0.08

最大検定値

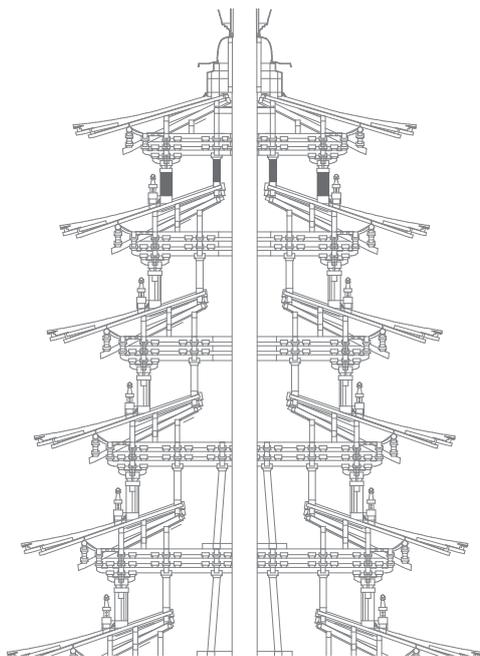
【七重柱】

側 柱(円柱)

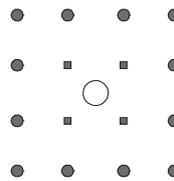
寸法  $\phi 620$  mm、全断面積  $= 620^2 \pi / 4 = 301907 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1245 mm、断面二次半径  $620/4 = 155$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1245/155 = 8.0$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 301907 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2291 \text{ kN}$

四天柱(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1161 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102 \text{ mm}$ 、  
 細長比  $\lambda$   $1161/102 = 11.4$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

157	145	145	157
145	95	95	145
145	95	95	145
157	145	145	157

検定比一覧

0.07	0.06	0.06	0.07
0.06	0.10	0.10	0.06
0.06	0.10	0.10	0.06
0.07	0.06	0.06	0.07

最大検定値

## 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

### 1-2-1 入側柱盤および四天柱盤の曲げ・せん断に関する検討

#### 1) 検討方法

入側柱盤および四天柱盤に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

#### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。

## 3) 検討結果

入側柱盤 (単位: kN,m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	-	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	-	354	354	354	354	354
柱盤の成 (mm)	-	242	242	242	242	242
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	-	85668	85668	85668	85668	85668
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	-	3455276	3455276	3455276	3455276	3455276
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	-	418088396	418088396	418088396	418088396	418088396
断面検定						
M	-	20.0	88.0	66.0	90.0	9.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	5.79	25.47	19.10	26.05	2.60
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	-	0.54	2.38	1.79	2.44	0.24
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.79	0.60	0.81	-
Q	-	9.0	149.0	231.0	389.0	4.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	0.16	2.61	4.04	6.81	0.07
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.15	2.48	3.85	6.49	0.07
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.24	1.93	3.24	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	NG	NG	NG	OK

四天柱盤 (単位: kN,m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	-	-	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	354	-	-	383	383	383
柱盤の成 (mm)	242	-	-	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	85668	-	-	112985	112985	112985
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3455276	-	-	5555096	5555096	5555096
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	418088396	-	-	819376635	819376635	819376635
断面検定						
M	49.0	-	-	31.0	20.0	30.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	14.18	-	-	5.58	3.60	5.40
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	-	-	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	-	-	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.33	-	-	0.52	0.34	0.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
Q	34.0	-	-	49.0	62.0	72.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.60	-	-	0.65	0.82	0.96
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	-	-	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	-	-	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.57	-	-	0.62	0.78	0.91
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	-	-	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

## 1-2-2 むり込みに関する検討

### 1) 基本事項

各重の柱盤について、柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。二重から三重の入側角柱下の柱盤は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱盤	入側柱盤	四天柱盤
七重	0.13	なし	0.19
六重	0.16	0.54	なし
五重	0.24	0.79	なし
四重	0.24	0.90	0.55
三重	0.23	1.50	0.76
二重	0.28	1.92	0.87

網掛けは、許容値（検定比1.00）を超える箇所を示す。

### 2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ、作用力の方向 繊維直交方向
- ・めり込み基準強度  $F_{cv} 7.8 \text{ N/mm}^2$ （告示 第1024号 第3 第一号イに示される数値）
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv} / 3 = 3.9 \text{ N/mm}^2$   
（告示 第1024号 第1 第一号イに示される数値）
- ・長期めり込み耐力算出用の柱盤の断面積は、柱盤上にある柱の全断面積とする。

各重、柱ごとの柱盤の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【二重柱盤】

側 柱(円柱)

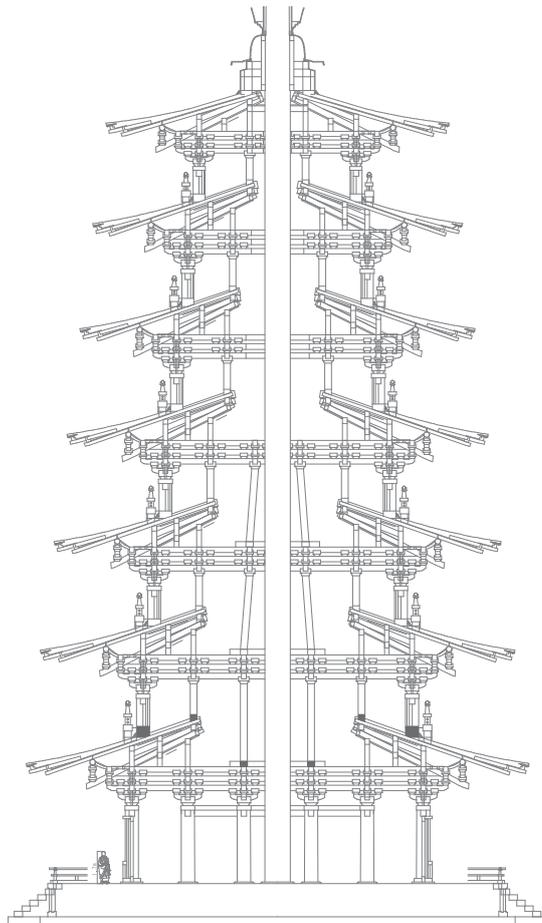
寸法  $\phi 693$  mm、全断面積 =  $693^2 \pi / 4 = 377187$  mm<sup>2</sup>

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 377187 \times 10^{-3} = 1471$  kN

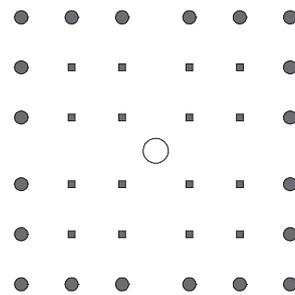
入側柱および四天柱(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$  kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

360	396	415	415	396	360
396	940	537	537	940	396
415	537	425	425	537	415
415	537	425	425	537	415
396	940	537	537	940	396
360	396	415	415	396	360

検定比一覧

0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24
0.27	1.92	1.10	1.10	1.92	0.27
0.28	1.10	0.87	0.87	1.10	0.28
0.28	1.10	0.87	0.87	1.10	0.28
0.27	1.92	1.10	1.10	1.92	0.27
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24

最大検定値

**【三重柱盤】**

**側 柱 (円柱)**

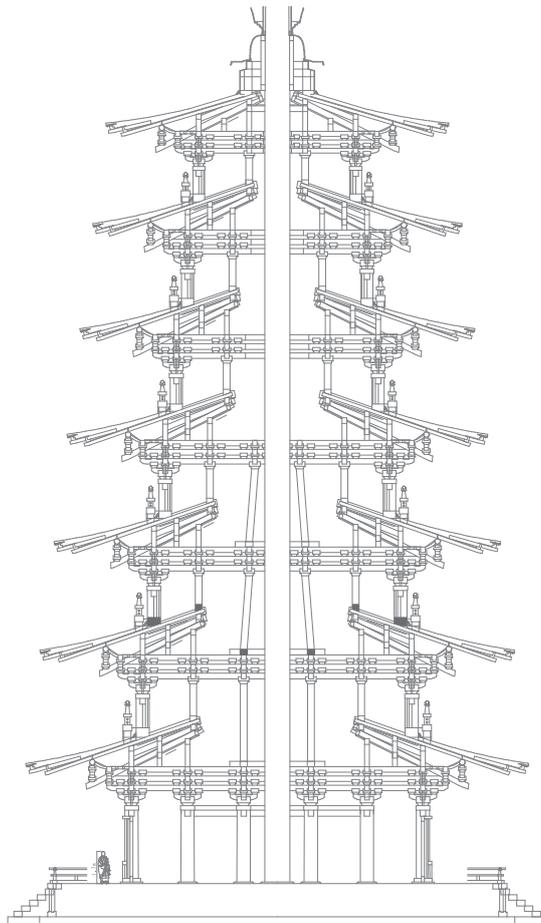
寸法  $\phi 678$  mm、全断面積 =  $678^2 \pi / 4 = 361035$  mm<sup>2</sup>

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 361035 \times 10^{-3} = 1408$  kN

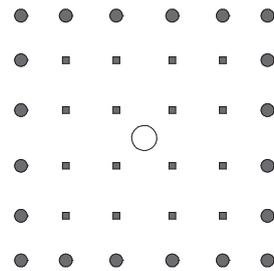
**入側柱および四天柱 (角柱)**

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$  kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

325	321	323	323	321	325
321	733	388	388	733	321
323	388	370	370	388	323
323	388	370	370	388	323
321	733	388	388	733	321
325	321	323	323	321	325

検定比一覧

0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
0.23	1.50	0.79	0.79	1.50	0.23
0.23	0.79	0.76	0.76	0.79	0.23
0.23	0.79	0.76	0.76	0.79	0.23
0.23	1.50	0.79	0.79	1.50	0.23
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

最大検定値

【四重柱盤】

側 柱(円柱)

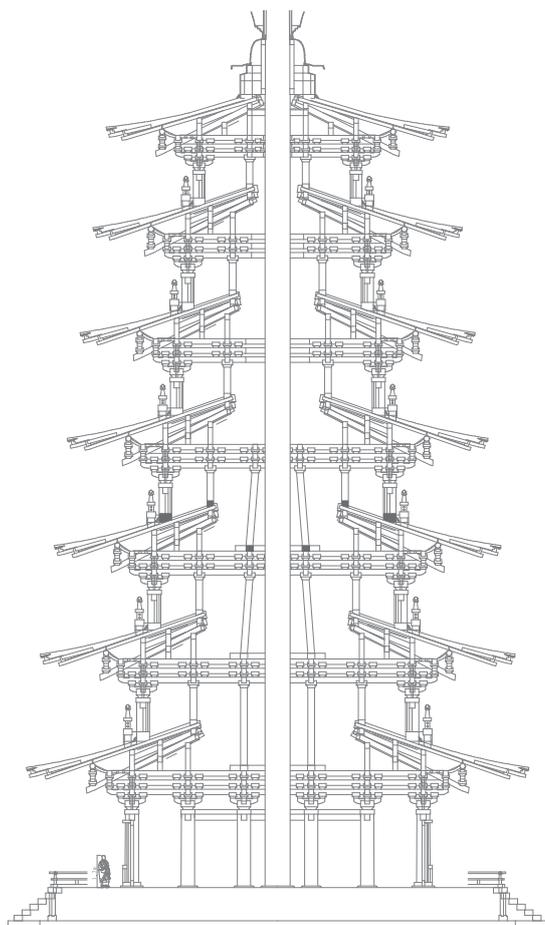
寸法  $\phi 664$  mm、全断面積 =  $664^2 \pi / 4 = 346279$  mm<sup>2</sup>

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 346279 \times 10^{-3} = 1350$  kN

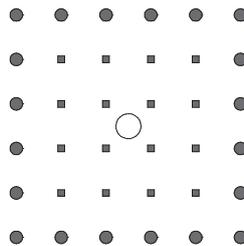
入側柱および四天柱(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>

入側柱盤および四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$  kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

323	295	284	284	295	323
295	437	230	230	437	295
284	230	271	271	230	284
284	230	271	271	230	284
295	437	230	230	437	295
323	295	284	284	295	323

検定比一覧

0.24	0.22	0.21	0.21	0.22	0.24
0.22	0.90	0.47	0.47	0.90	0.22
0.21	0.47	0.55	0.55	0.47	0.21
0.21	0.47	0.55	0.55	0.47	0.21
0.22	0.90	0.47	0.47	0.90	0.22
0.24	0.22	0.21	0.21	0.22	0.24

最大検定値

**【五重柱盤】**

側 柱 (円柱)

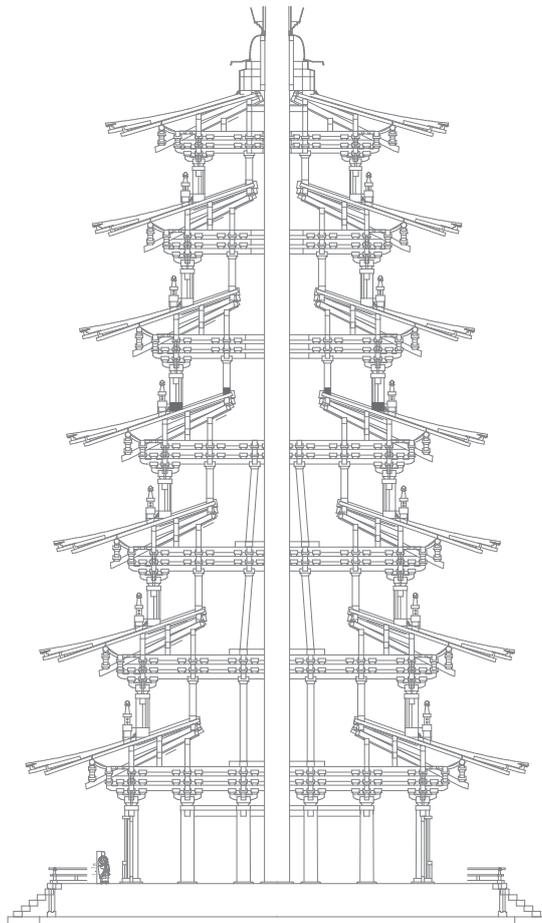
寸法  $\phi 649$  mm、全断面積 =  $649^2 \pi / 4 = 330810 \text{ mm}^2$

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 330810 \times 10^{-3} = 1290 \text{ kN}$

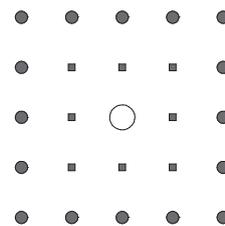
入側柱 (角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

264	313	298	313	264
313	385	297	385	313
298	297		297	298
313	385	297	385	313
264	313	298	313	264

検定比一覧

0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24	0.79	0.61	0.79	0.24
0.23	0.61		0.61	0.23
0.24	0.79	0.61	0.79	0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

**【六重柱盤】**

**側 柱(円柱)**

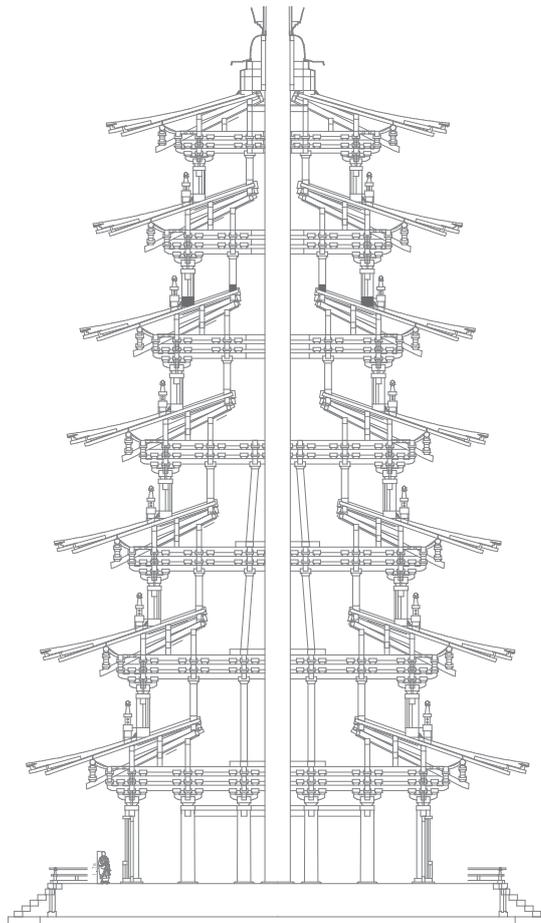
寸法  $\phi 634$  mm、全断面積 =  $634^2 \pi / 4 = 315696$  mm<sup>2</sup>

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 315696 \times 10^{-3} = 1231$  kN

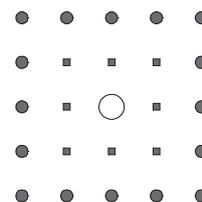
**入側柱(角柱)**

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>

入側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489$  kN



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位 : kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.16	0.14	0.14	0.14	0.16
0.14	0.54	0.36	0.54	0.14
0.14	0.36		0.36	0.14
0.14	0.54	0.36	0.54	0.14
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16

最大検定値

**【七重柱盤】**

**側 柱 (円柱)**

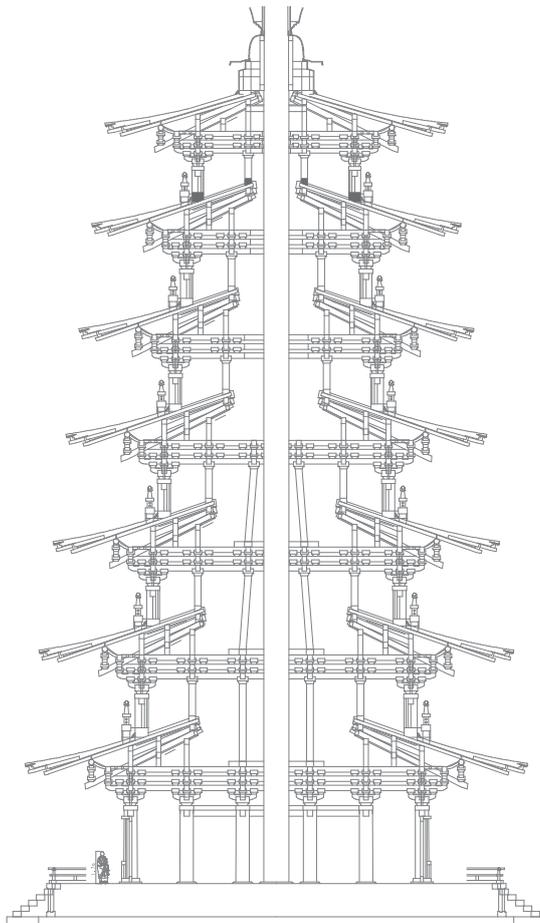
寸法  $\phi 620$  mm、全断面積 =  $620^2 \pi / 4 = 301907 \text{ mm}^2$

側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 301907 \times 10^{-3} = 1177 \text{ kN}$

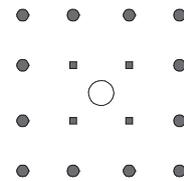
**四天柱 (角柱)**

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位: kN)

157	145	145	157
145	95	95	145
145	95	95	145
157	145	145	157

検定比一覧

0.13	0.12	0.12	0.13
0.12	0.19	0.19	0.12
0.12	0.19	0.19	0.12
0.13	0.12	0.12	0.13

最大検定値

### 1-3 台輪のめり込みに関する検討

#### 1) 基本事項

各重の台輪について、大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての層で1.00以下である。

大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	台輪
七重	0.13
六重	0.16
五重	0.24
四重	0.23
三重	0.23
二重	0.28
初重	0.75

#### 2) 共通事項

- ・ 樹種 ヒノキ
- ・ めり込み基準強度  $F_{cv} 7.8 \text{ N/mm}^2$  (告示 第1024号 第3 第一号イに示される数値)
- ・ 長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv} / 3 = 3.9 \text{ N/mm}^2$   
(告示 第1024号 第1 第一号イに示される数値)
- ・ 長期めり込み耐力算出用の面積は、台輪下円柱の柱頭の全断面積とする。

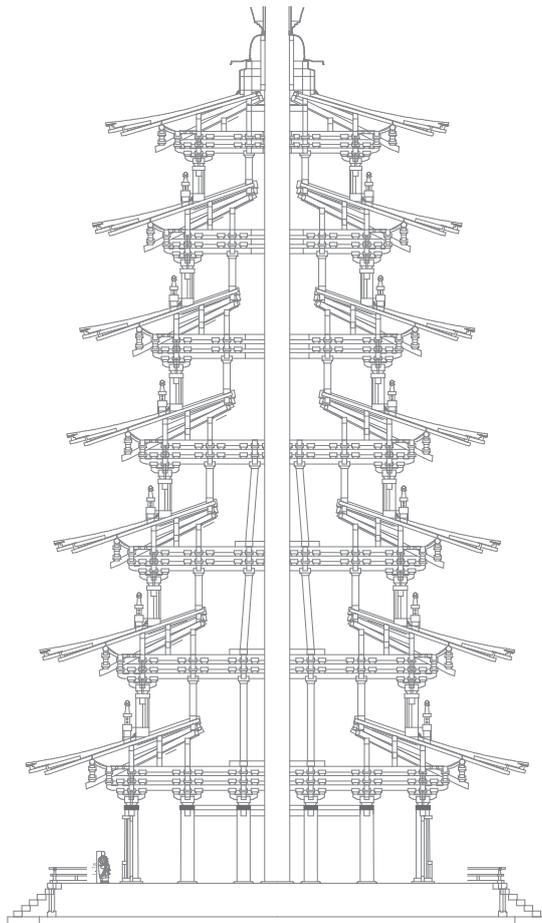
各重、柱ごとの台輪の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

### 3) 各重ごとの検討結果

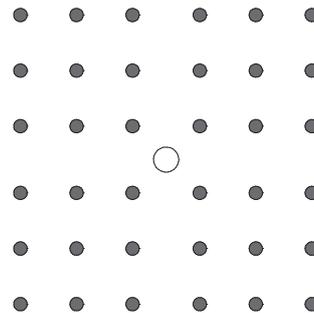
#### 【初重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 690$  mm、全断面積 =  $690^2 \pi / 4 = 373928 \text{ mm}^2$

初重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 373928 \times 10^{-3} = 1458 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

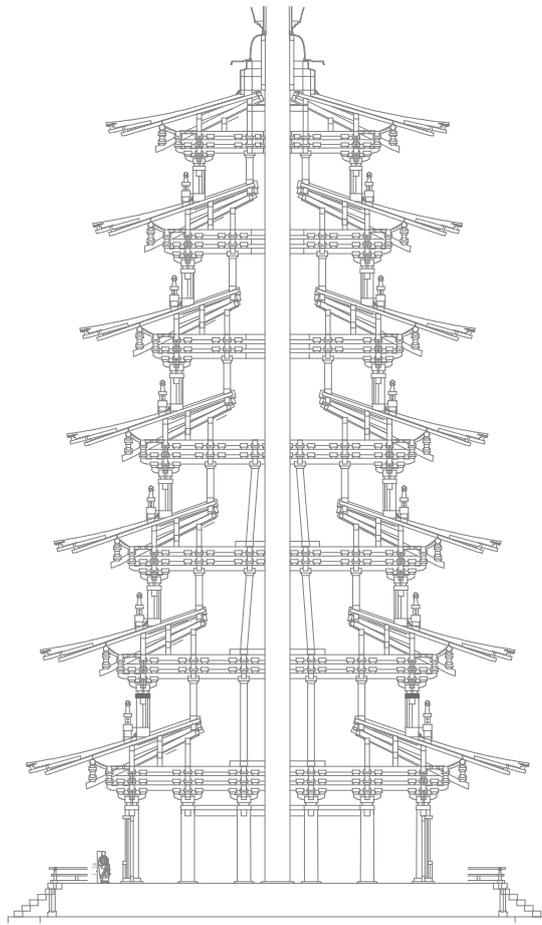
0.30	0.38	0.36	0.36	0.38	0.30
0.38	0.75	0.46	0.46	0.75	0.38
0.36	0.46	0.33	0.33	0.46	0.36
0.36	0.46	0.33	0.33	0.46	0.36
0.38	0.75	0.46	0.46	0.75	0.38
0.30	0.38	0.36	0.36	0.38	0.30

最大検定値

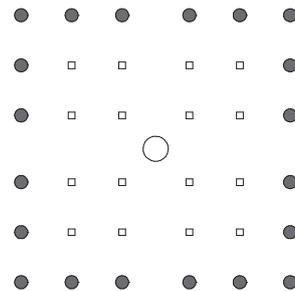
【二重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 693$  mm、全断面積 =  $693^2 \pi / 4 = 377193 \text{ mm}^2$

二重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 377193 \times 10^{-3} = 1471 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

354	391	409	409	391	354
391					391
409					409
409					409
391					391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

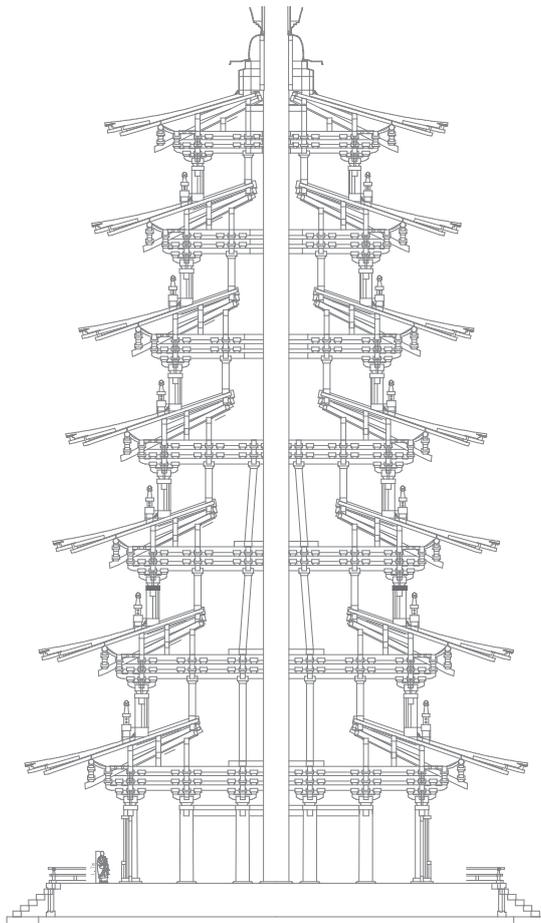
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24
0.27					0.27
0.28					0.28
0.28					0.28
0.27					0.27
0.24	0.27	0.28	0.28	0.27	0.24

最大検定値

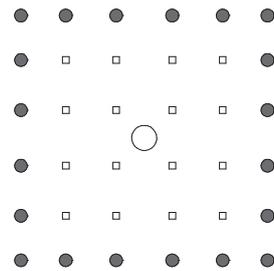
**【三重台輪】**

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 678$  mm、全断面積 =  $678^2 \pi / 4 = 361035 \text{ mm}^2$

三重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 361035 \times 10^{-3} = 1408 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

320	316	318	318	316	320
316					316
318					318
318					318
316					316
320	316	318	318	316	320

検定比一覧

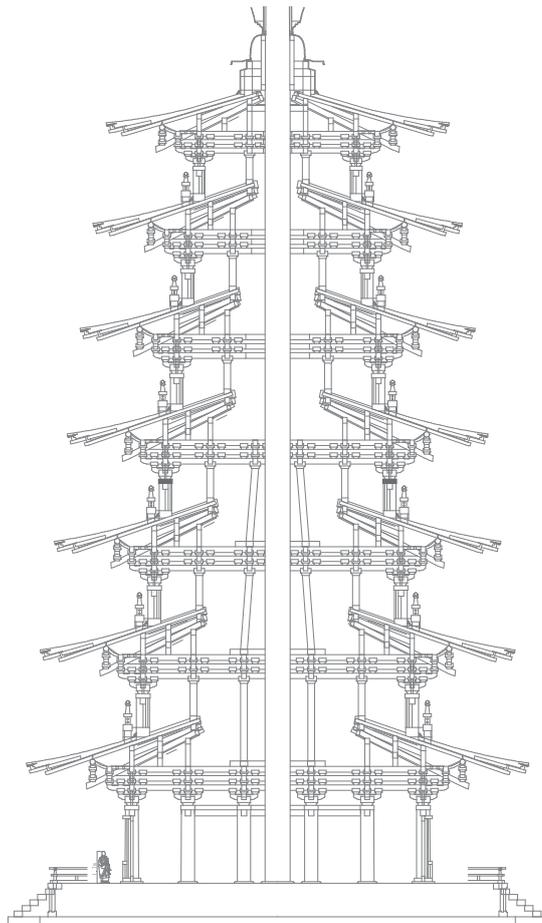
0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23
0.22					0.22
0.23					0.23
0.23					0.23
0.22					0.22
0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23

最大検定値

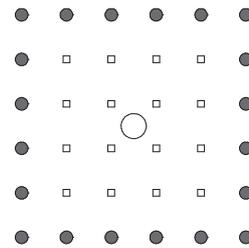
【四重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 667$  mm、全断面積 =  $667^2 \pi / 4 = 349415 \text{ mm}^2$

四重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 349415 \times 10^{-3} = 1363 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

318	290	279	279	290	318
290					290
279					279
279					279
290					290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

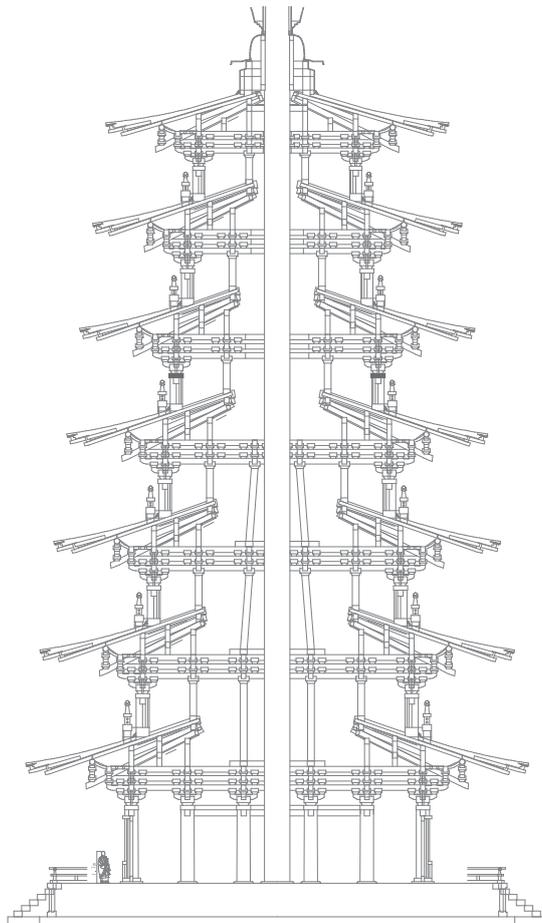
0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23
0.21					0.21
0.21					0.21
0.21					0.21
0.21					0.21
0.23	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23

最大検定値

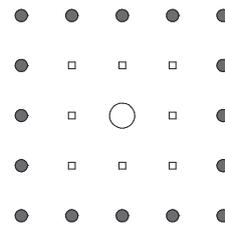
【五重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 649$  mm、全断面積 =  $649^2 \pi / 4 = 330810 \text{ mm}^2$

五重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 330810 \times 10^{-3} = 1290 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308				308
293				293
308				308
259	308	293	308	259

検定比一覧

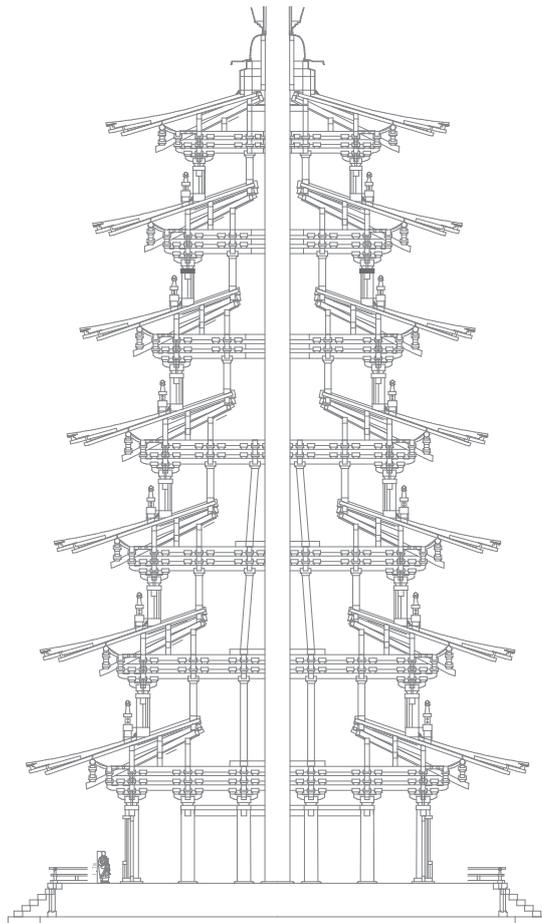
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24				0.24
0.23				0.23
0.24				0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

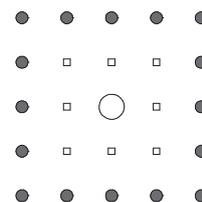
【六重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 634 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 634^2 \pi / 4 = 315696 \text{ mm}^2$

六重台輪の長期めり込み耐力  $= 3.9 \times 315696 \times 10^{-3} = 1231 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

194	171	178	171	194
171				171
178				178
171				171
194	171	178	171	194

検定比一覧

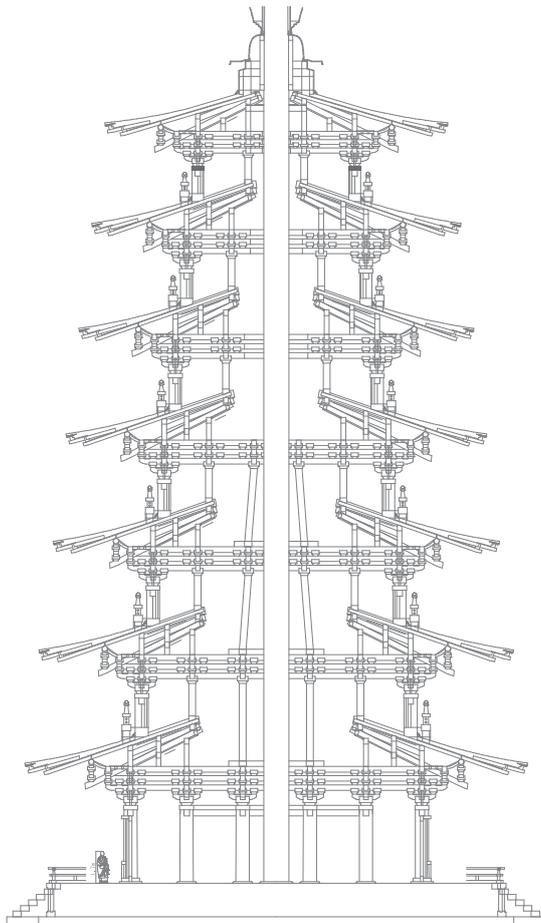
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16
0.14				0.14
0.14				0.14
0.14				0.14
0.16	0.14	0.14	0.14	0.16

最大検定値

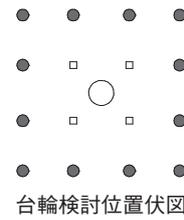
【七重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 620$  mm、全断面積 =  $620^2 \pi / 4 = 301907 \text{ mm}^2$

七重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 301907 \times 10^{-3} = 1177 \text{ kN}$



KEYSECTION



台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位: kN)

152	140	140	152
140			140
140			140
152	140	140	152

検定比一覧

0.13	0.12	0.12	0.13
0.12			0.12
0.12			0.12
0.13	0.12	0.12	0.13

最大検定値

## 2 組物の検討

### 2-1 大斗のめり込みに関する検討

#### 2-1-1 ヒノキの場合

##### 1) 基本事項

各重の大斗について、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。初重から三重の入側角柱の大斗は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱大斗	入側柱大斗	四天柱大斗
七重	0.21	なし	0.19
六重	0.21	0.54	なし
五重	0.33	0.79	なし
四重	0.34	0.90	0.55
三重	0.35	1.50	0.76
二重	0.44	1.92	0.87
初重	0.60	1.19	0.51

網掛けは、許容値(検定比1.00)を超える箇所を示す。

##### 2) 前提条件

- ・樹種 ヒノキ、木口斗
- ・めり込み基準強度  $F_{cv}$  7.8 N/mm<sup>2</sup> (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv} / 3 = 3.9$  N/mm<sup>2</sup>  
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の大斗の断面は、大斗尻の全断面積とする。

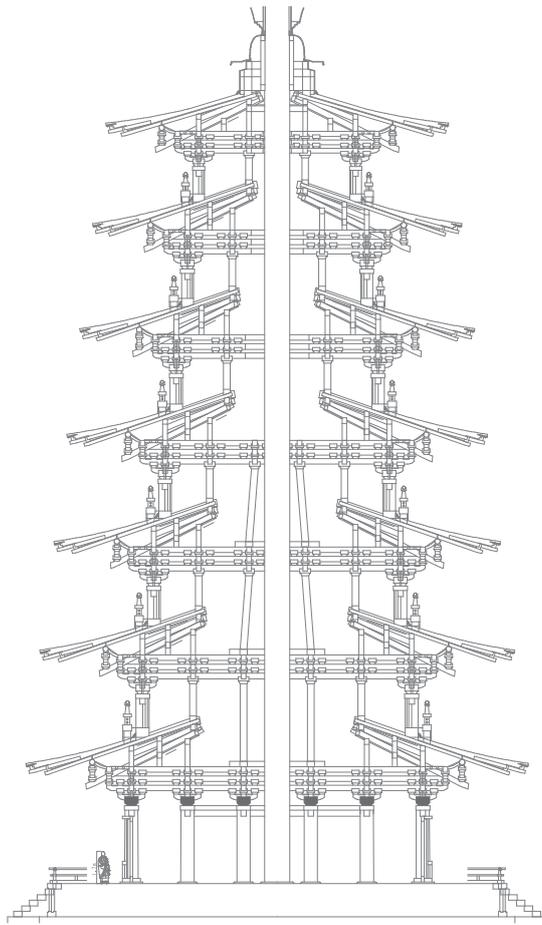
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

### 3) 各重ごとの検討結果

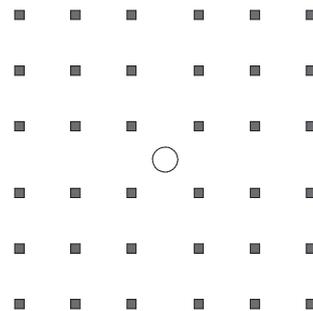
#### 【初重大斗】

初重柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

初重柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

0.48	0.60	0.57	0.57	0.60	0.48
0.60	1.19	0.72	0.72	1.19	0.60
0.57	0.72	0.51	0.51	0.72	0.57
0.57	0.72	0.51	0.51	0.72	0.57
0.60	1.19	0.72	0.72	1.19	0.60
0.48	0.60	0.57	0.57	0.60	0.48

最大検定値

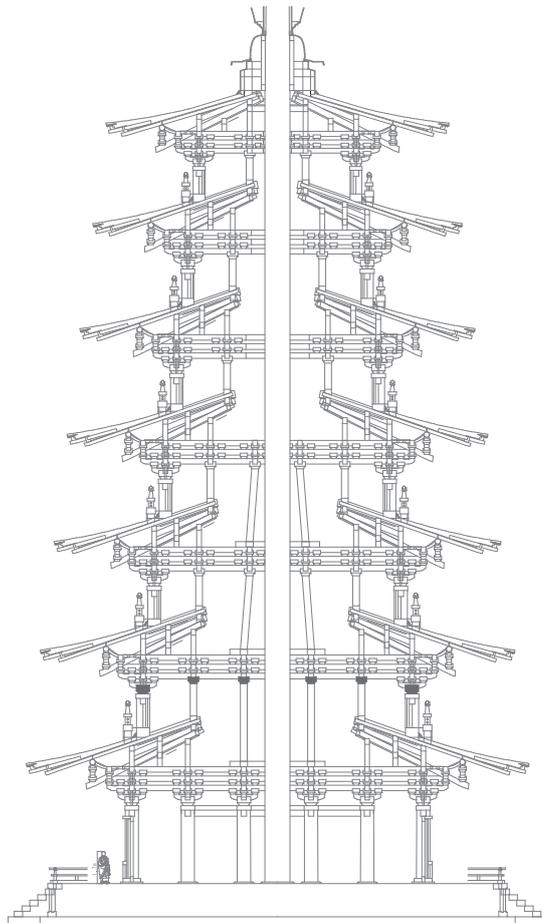
【二重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm × 487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

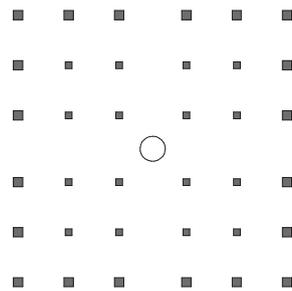
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm × 354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

354	391	409	409	391	354
391	940	537	537	940	391
409	537	425	425	537	409
409	537	425	425	537	409
391	940	537	537	940	391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38
0.42	1.92	1.10	1.10	1.92	0.42
0.44	1.10	0.87	0.87	1.10	0.44
0.44	1.10	0.87	0.87	1.10	0.44
0.42	1.92	1.10	1.10	1.92	0.42
0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38

最大検定値

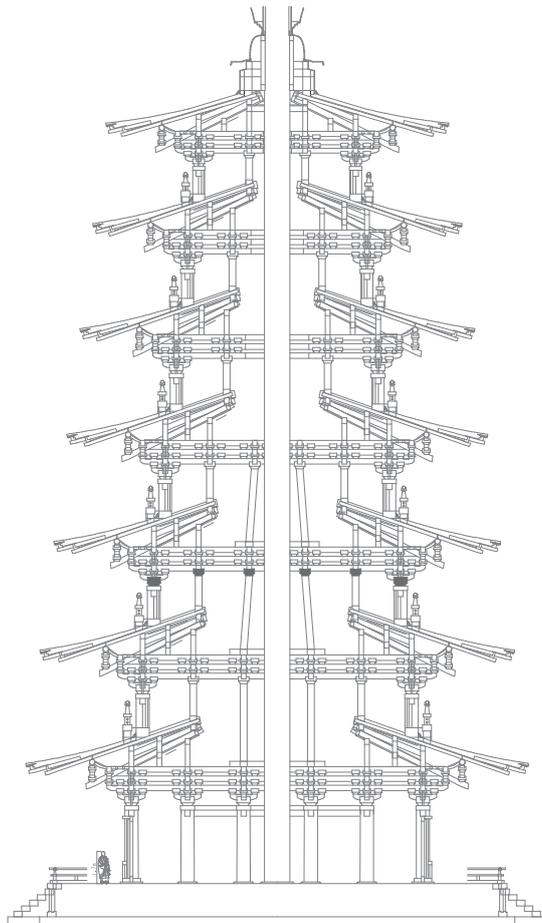
【三重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

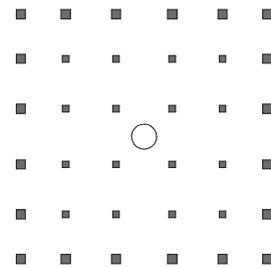
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

320	316	318	318	316	320
316	733	388	388	733	316
318	388	370	370	388	318
318	388	370	370	388	318
316	733	388	388	733	316
320	316	318	318	316	320

検定比一覧

0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35
0.34	1.50	0.79	0.79	1.50	0.34
0.34	0.79	0.76	0.76	0.79	0.34
0.34	0.79	0.76	0.76	0.79	0.34
0.34	1.50	0.79	0.79	1.50	0.34
0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35

最大検定値

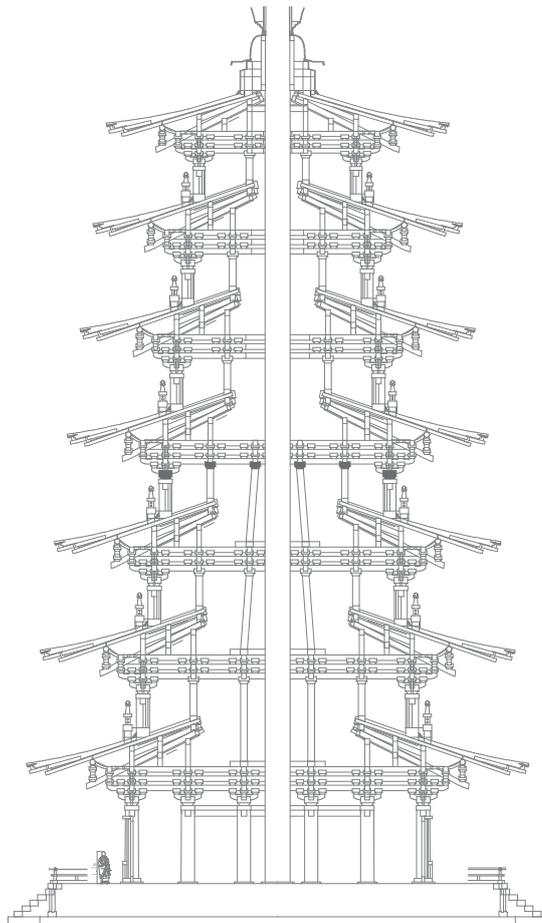
【四重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

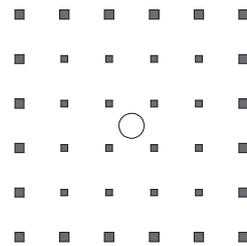
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

318	290	279	279	290	318
290	437	230	230	437	290
279	230	271	271	230	279
279	230	271	271	230	279
290	437	230	230	437	290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

0.34	0.31	0.30	0.30	0.31	0.34
0.31	0.90	0.47	0.47	0.90	0.31
0.30	0.47	0.55	0.55	0.47	0.30
0.30	0.47	0.55	0.55	0.47	0.30
0.31	0.90	0.47	0.47	0.90	0.31
0.34	0.31	0.30	0.30	0.31	0.34

最大検定値

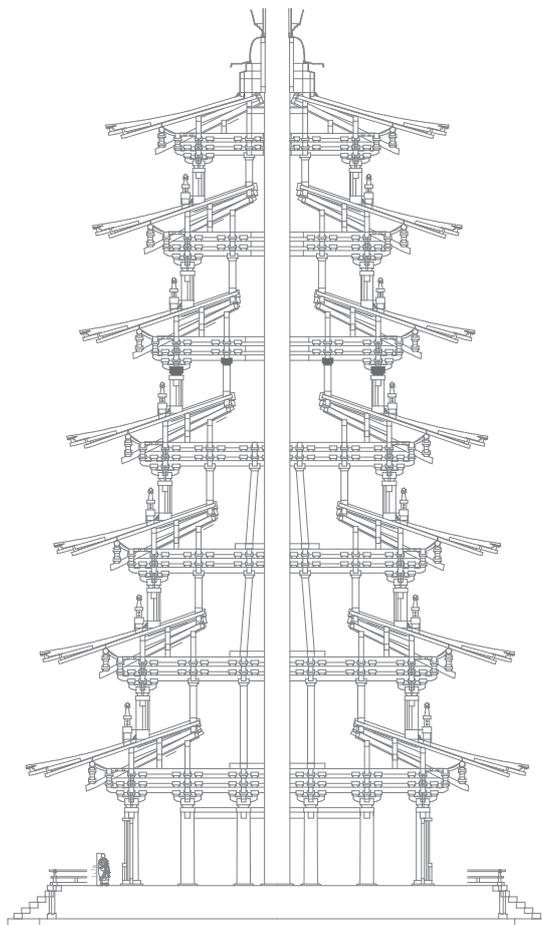
**【五重大斗】**

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

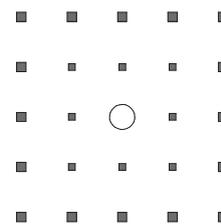
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308	385	297	385	308
293	297		297	293
308	385	297	385	308
259	308	293	308	259

検定比一覧

0.28	0.33	0.32	0.33	0.28
0.33	0.79	0.61	0.79	0.33
0.32	0.61		0.61	0.32
0.33	0.79	0.61	0.79	0.33
0.28	0.33	0.32	0.33	0.28

最大検定値

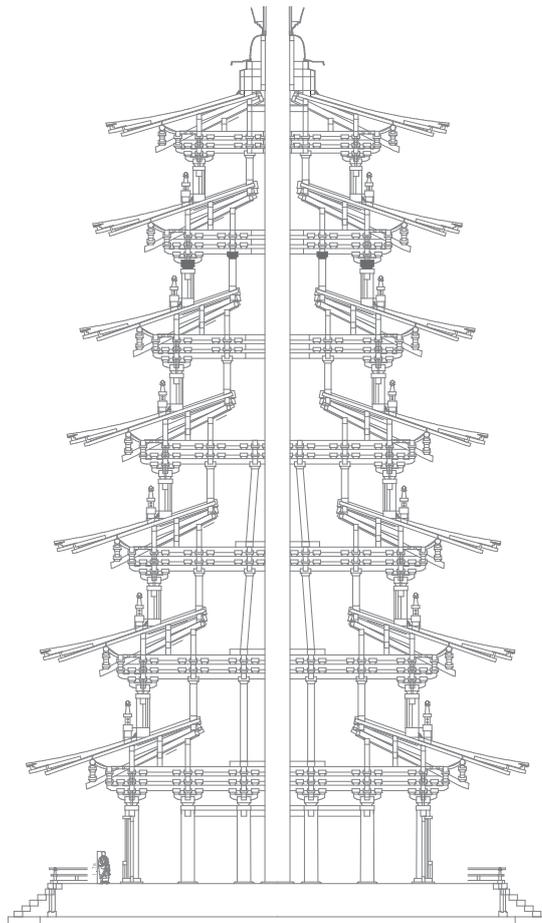
【六重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

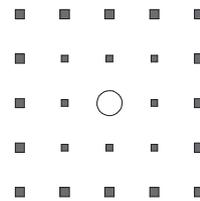
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 237169 \times 10^{-3} = 925 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.21	0.19	0.19	0.19	0.21
0.19	0.54	0.36	0.54	0.19
0.19	0.36		0.36	0.19
0.19	0.54	0.36	0.54	0.19
0.21	0.19	0.19	0.19	0.21

最大検定値

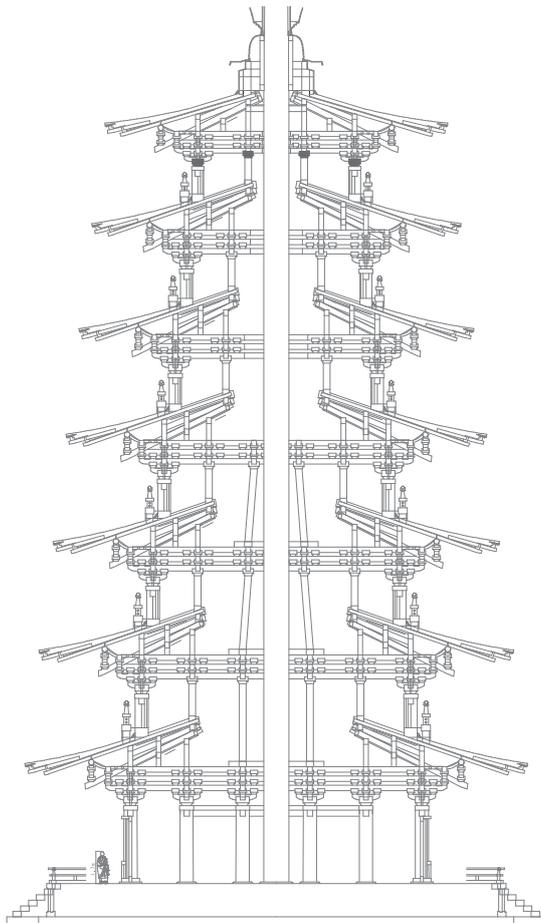
【七重大斗】

側柱の大斗尻寸法 428 mm×428 mm、全断面積 =  $428^2 = 183184 \text{ mm}^2$

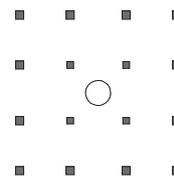
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 183184 \times 10^{-3} = 714 \text{ kN}$

四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 125316 \times 10^{-3} = 489 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

152	140	140	152
140	95	95	140
140	95	95	140
152	140	140	152

検定比一覧

0.21	0.20	0.20	0.21
0.20	0.19	0.19	0.20
0.20	0.19	0.19	0.20
0.21	0.20	0.20	0.21

最大検定値

## 2-1-2 ケヤキの場合

## 1) 基本事項

各重の大斗について、ケヤキとした場合の、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。二重から三重の入側角柱の大斗は、検定比が1.00を超える。これ以外は1.00以下である。もし、めり込み降伏耐力(弾性限界)まで許容すれば、許容値は2.00となるが、めり込みに関しては、強度比と荷重継続時間の関係は不明である。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱大斗	入側柱大斗	四天柱大斗
七重	0.15	なし	0.14
六重	0.15	0.39	なし
五重	0.24	0.57	なし
四重	0.25	0.65	0.40
三重	0.25	1.08	0.55
二重	0.32	1.39	0.63
初重	0.43	0.86	0.37

網掛けは、許容値(検定比1.00)を超える箇所を示す。

## 2) 前提条件

- ・樹種 ケヤキ、木口斗
- ・めり込み基準強度  $F_{cv}$  10.8 N/mm<sup>2</sup> (告示第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv} / 3 = 5.4$  N/mm<sup>2</sup>  
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の大斗の断面は、大斗尻の全断面積とする。

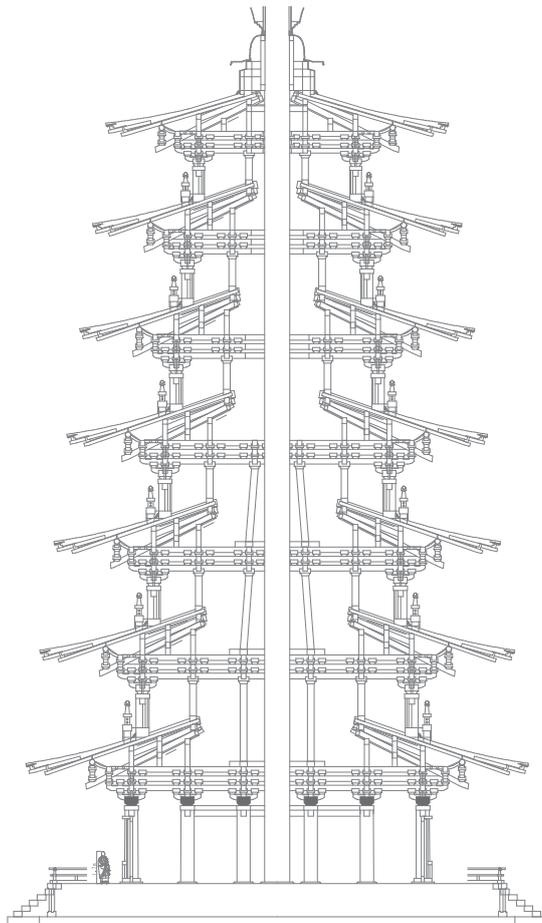
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

### 3) 各重ごとの検討結果

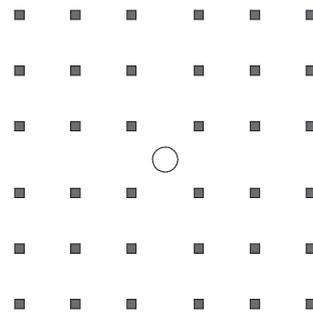
#### 【初重大斗】

初重柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

初重柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

443	557	530	530	557	443
557	1097	669	669	1097	557
530	669	475	475	669	530
530	669	475	475	669	530
557	1097	669	669	1097	557
443	557	530	530	557	443

検定比一覧

0.35	0.43	0.41	0.41	0.43	0.35
0.43	0.86	0.52	0.52	0.86	0.43
0.41	0.52	0.37	0.37	0.52	0.41
0.41	0.52	0.37	0.37	0.52	0.41
0.43	0.86	0.52	0.52	0.86	0.43
0.35	0.43	0.41	0.41	0.43	0.35

最大検定値

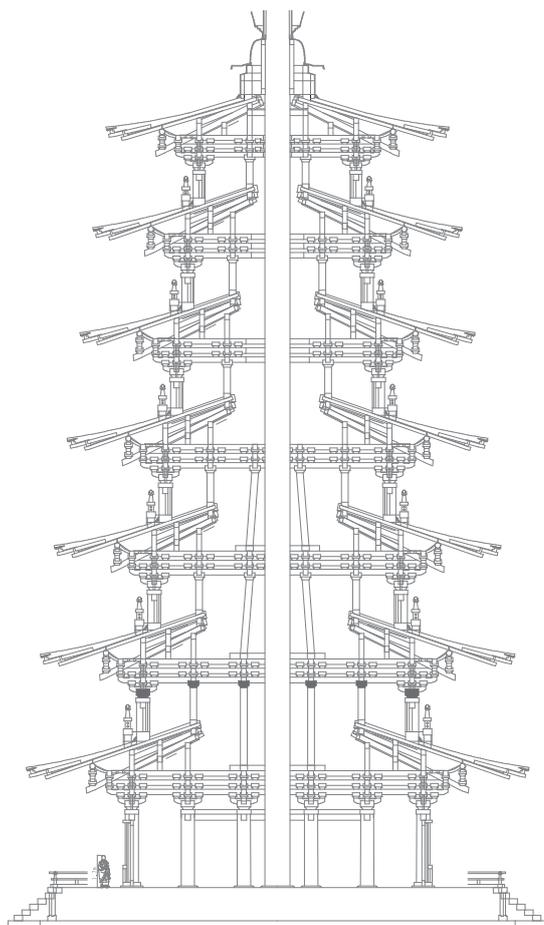
【二重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

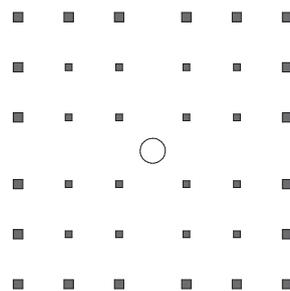
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

354	391	409	409	391	354
391	940	537	537	940	391
409	537	425	425	537	409
409	537	425	425	537	409
391	940	537	537	940	391
354	391	409	409	391	354

検定比一覧

0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28
0.31	1.39	0.79	0.79	1.39	0.31
0.32	0.79	0.63	0.63	0.79	0.32
0.32	0.79	0.63	0.63	0.79	0.32
0.31	1.39	0.79	0.79	1.39	0.31
0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.28

最大検定値

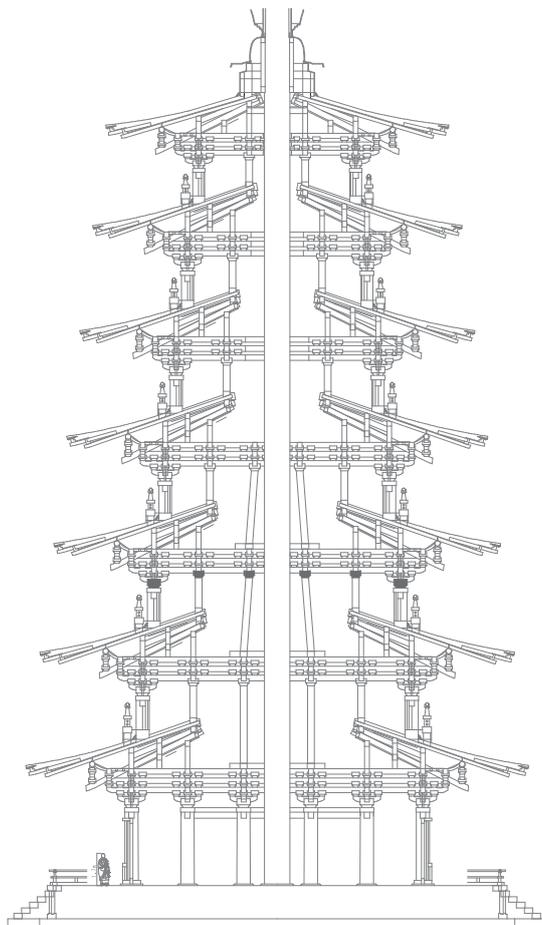
【三重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

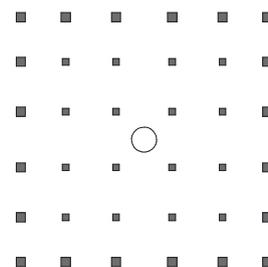
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

320	316	318	318	316	320
316	733	388	388	733	316
318	388	370	370	388	318
318	388	370	370	388	318
316	733	388	388	733	316
320	316	318	318	316	320

検定比一覧

0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.25	1.08	0.57	0.57	1.08	0.25
0.25	0.57	0.55	0.55	0.57	0.25
0.25	0.57	0.55	0.55	0.57	0.25
0.25	1.08	0.57	0.57	1.08	0.25
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

最大検定値

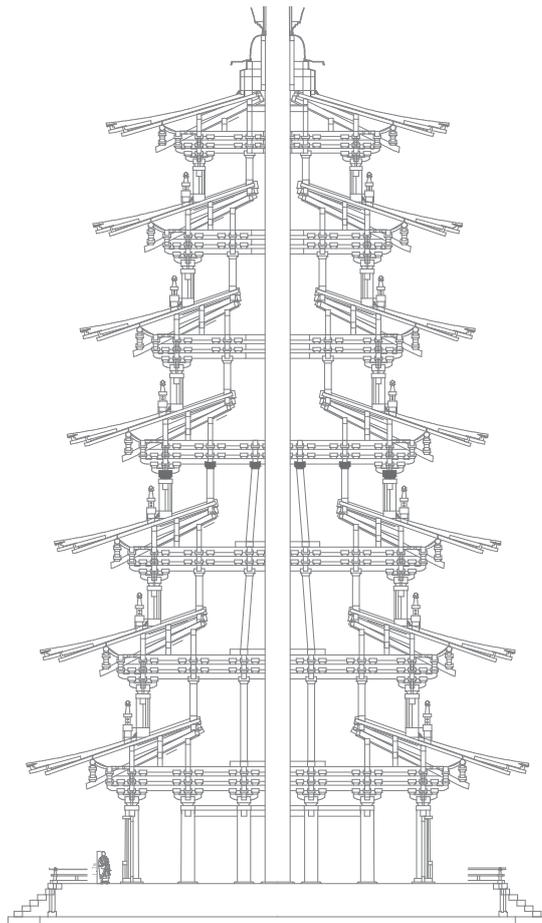
【四重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

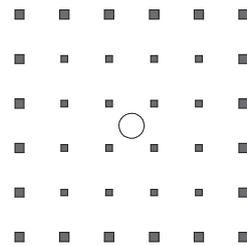
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側および四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側および四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

318	290	279	279	290	318
290	437	230	230	437	290
279	230	271	271	230	279
279	230	271	271	230	279
290	437	230	230	437	290
318	290	279	279	290	318

検定比一覧

0.25	0.23	0.22	0.22	0.23	0.25
0.23	0.65	0.34	0.34	0.65	0.23
0.22	0.34	0.40	0.40	0.34	0.22
0.22	0.34	0.40	0.40	0.34	0.22
0.23	0.65	0.34	0.34	0.65	0.23
0.25	0.23	0.22	0.22	0.23	0.25

最大検定値

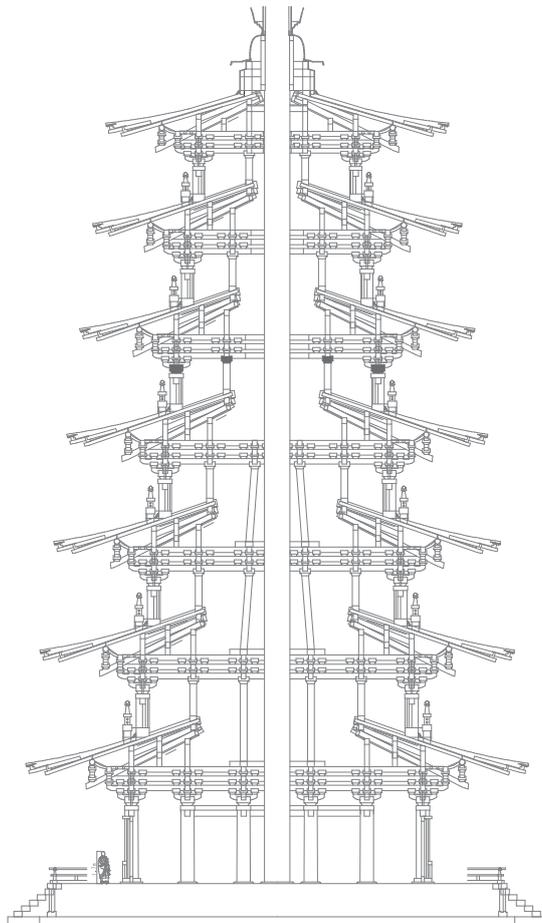
【五重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

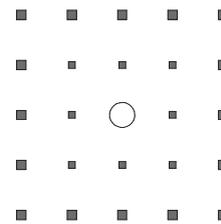
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位: kN)

259	308	293	308	259
308	385	297	385	308
293	297		297	293
308	385	297	385	308
259	308	293	308	259

検定比一覧

0.20	0.24	0.23	0.24	0.20
0.24	0.57	0.44	0.57	0.24
0.23	0.44		0.44	0.23
0.24	0.57	0.44	0.57	0.24
0.20	0.24	0.23	0.24	0.20

最大検定値

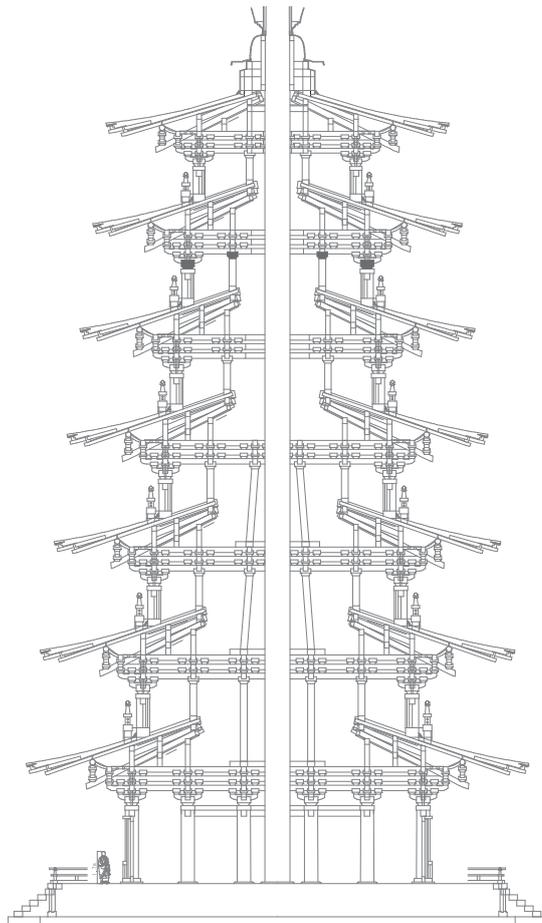
【六重大斗】

側柱の大斗尻寸法 487 mm×487 mm、全断面積 =  $487^2 = 237169 \text{ mm}^2$

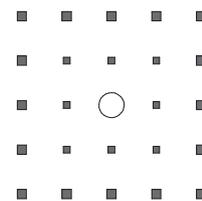
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 237169 \times 10^{-3} = 1281 \text{ kN}$

入側柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

入側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

194	171	178	171	194
171	264	178	264	171
178	178		178	178
171	264	178	264	171
194	171	178	171	194

検定比一覧

0.15	0.13	0.14	0.13	0.15
0.13	0.39	0.26	0.39	0.13
0.14	0.26		0.26	0.14
0.13	0.39	0.26	0.39	0.13
0.15	0.13	0.14	0.13	0.15

最大検定値

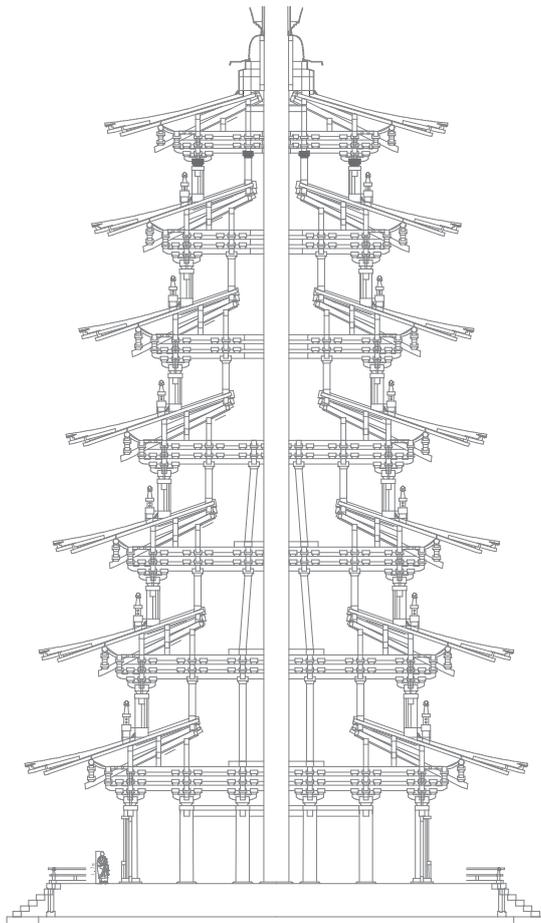
【七重大斗】

側柱の大斗尻寸法 428 mm×428 mm、全断面積 =  $428^2 = 183184 \text{ mm}^2$

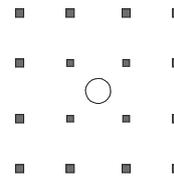
側柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 183184 \times 10^{-3} = 989 \text{ kN}$

四天柱の大斗尻寸法 354 mm×354 mm、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$

四天柱の大斗尻の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 125316 \times 10^{-3} = 677 \text{ kN}$



KEYSECTION



大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

152	140	140	152
140	95	95	140
140	95	95	140
152	140	140	152

検定比一覧

0.15	0.14	0.14	0.15
0.14	0.14	0.14	0.14
0.14	0.14	0.14	0.14
0.15	0.14	0.14	0.15

最大検定値

## 2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

## 2-2-1 平部の肘木

## 1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	12.0	11.0	19.0	67.0	37.0	41.0	50.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.3	3.0	5.2	18.4	10.2	11.3	13.7
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.31	0.28	0.49	1.72	0.95	1.05	1.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	-	-	-
Q	21.0	27.0	47.0	92.0	74.0	88.0	107.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.43	0.55	0.95	1.86	1.50	1.78	2.17
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	0.52	0.91	1.77	1.43	1.70	2.06
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.89	-	0.85	1.03
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	19.0	16.0	24.0	56.0	26.0	23.0	34.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	5.2	4.4	6.6	15.4	7.1	6.3	9.3
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.49	0.41	0.62	1.44	0.67	0.59	0.87
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	29.0	27.0	41.0	46.0	33.0	38.0	58.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.59	0.55	0.83	0.93	0.67	0.77	1.17
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.56	0.52	0.79	0.89	0.64	0.73	1.12
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	25.0	24.0	36.0	67.0	52.0	43.0	53.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	6.9	6.6	9.9	18.4	14.3	11.8	14.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.64	0.62	0.93	1.72	1.34	1.11	1.36
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	-	-	-
Q	25.0	23.0	45.0	71.0	71.0	84.0	71.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.51	0.47	0.91	1.44	1.44	1.70	1.44
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.48	0.44	0.87	1.37	1.37	1.62	1.37
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.81	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	OK	NG	OK
一の肘木 検定							
一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
一の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.7	11.3	9.2	11.4	13.4	19.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.4	2.1	3.1	2.5	3.1	3.7	5.2
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.20	0.29	0.24	0.29	0.34	0.49
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	30.0	32.0	50.0	39.0	47.0	61.0	82.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.61	0.65	1.01	0.79	0.95	1.24	1.66
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.58	0.62	0.96	0.75	0.91	1.18	1.58
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.79
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≥1.00を示す。

## 2-2-2 隅行きの肘木

## 1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・側柱筋の一の肘木は、一の肘木上巻斗と一木造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・入側柱筋の一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・一の肘木は、ケヤキの場合の検定値も示す。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)							
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	10.0	22.0	34.0	52.0	63.0	77.0	93.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.7	6.0	9.3	14.3	17.3	21.2	25.5
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.26	0.57	0.87	1.34	1.62	1.98	2.39
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.54	0.66	0.80
Q	12.0	30.0	49.0	61.0	81.0	104.0	126.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.24	0.61	0.99	1.24	1.64	2.11	2.55
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.23	0.58	0.95	1.18	1.56	2.01	2.43
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.78	1.00	1.22
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	11.0	10.0	18.0	19.0	19.0	24.0	37.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	2.7	4.9	5.2	5.2	6.6	10.2
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.28	0.26	0.46	0.49	0.49	0.62	0.95
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	5.0	7.0	13.0	16.0	17.0	20.0	32.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.10	0.14	0.26	0.32	0.34	0.41	0.65
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.10	0.14	0.25	0.31	0.33	0.39	0.62
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	18.0	22.0	31.0	36.0	45.0	54.0	55.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	4.9	6.0	8.5	9.9	12.4	14.8	15.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.46	0.57	0.80	0.93	1.16	1.39	1.41
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	12.0	27.0	36.0	38.0	68.0	82.0	47.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.24	0.55	0.73	0.77	1.38	1.66	0.95
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.23	0.52	0.69	0.73	1.31	1.58	0.91
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.79	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位：kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
側柱筋一の肘木 検定							
側柱筋一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
側柱筋一の肘木の成 (mm)	487	487	487	487	487	487	487
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	122237	122237	122237	122237	122237	122237	122237
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254
断面検定							
フェース位置のM	10.1	12.8	16.3	18.8	18.8	21.1	28.1
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.3	1.6	1.9	1.9	2.1	2.8
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.10	0.12	0.15	0.18	0.18	0.20	0.27
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	19.0	26.0	33.0	40.0	40.0	45.0	59.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.23	0.32	0.40	0.49	0.49	0.55	0.72
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.22	0.30	0.39	0.47	0.47	0.53	0.69
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	10.1	12.8	16.3	18.8	18.8	21.1	28.1
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.3	1.6	1.9	1.9	2.1	2.8
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.09	0.11	0.14	0.16	0.16	0.18	0.24
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	19.0	26.0	33.0	40.0	40.0	45.0	59.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.23	0.32	0.40	0.49	0.49	0.55	0.72
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.16	0.21	0.27	0.33	0.33	0.37	0.48
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
入側柱筋一の肘木 検定							
入側柱筋一の肘木の幅 (mm)	-	-	-	-	-	-	251
入側柱筋一の肘木の成 (mm)	-	-	-	-	-	-	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	-	-	-	-	-	-	536980510
断面検定							
フェース位置のM	-	-	-	-	-	-	34.1
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	9.4
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	10.7
曲げ検定比	-	-	-	-	-	-	0.88
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	-	-	-	-	-	-	67.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.36
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.05
せん断検定比	-	-	-	-	-	-	1.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	-	-	-	OK
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	-	-	-	-	-	-	34.1
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	9.4
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	11.8
曲げ検定比	-	-	-	-	-	-	0.80
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	-	-	-	-	-	-	67.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.36
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.5
せん断検定比	-	-	-	-	-	-	0.90
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	-	-	-	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

## 1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
平の尾垂木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
平の尾垂木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
平の尾垂木の断面検定							
M	54.0	60.0	56.0	173.0	149.0	121.0	150.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	14.83	16.48	15.38	47.52	40.93	33.24	41.20
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.39	1.54	1.44	4.45	3.83	3.11	3.86
【参考】基準強度に対する比率	-	0.51	-	1.48	1.28	1.04	1.29
Q	68.0	62.0	171.0	178.0	231.0	370.0	463.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.38	1.26	3.46	3.61	4.68	7.50	9.38
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	1.31	1.20	3.30	3.43	4.46	7.14	8.93
【参考】基準強度に対する比率	-	-	1.65	1.72	2.23	3.57	4.47
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
隅行尾垂木 (上) の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
隅行尾垂木 (上) の成 (mm)	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隅行尾垂木 (上) の断面検定							
M	13.0	37.0	39.0	76.0	85.0	79.0	102.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.30	6.55	6.90	13.45	15.04	13.98	18.05
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.61	0.65	1.26	1.41	1.31	1.69
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.56
Q	12.0	28.0	89.0	59.0	98.0	182.0	237.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.42	1.33	0.88	1.47	2.73	3.55
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.40	1.27	0.84	1.40	2.60	3.39
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	1.30	1.69
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
隅行尾垂木 (下) の断面検定							
M	20.0	44.0	39.0	88.0	101.0	90.0	109.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.54	7.79	6.90	15.57	17.88	15.93	19.29
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.33	0.73	0.65	1.46	1.67	1.49	1.81
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.49	0.56	0.50	0.60
Q	12.0	33.0	89.0	67.0	116.0	206.0	249.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.49	1.33	1.00	1.74	3.09	3.73
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.47	1.27	0.96	1.66	2.94	3.56
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.83	1.47	1.78
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

### 3 軒の検討

#### 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

##### 1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

##### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

##### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

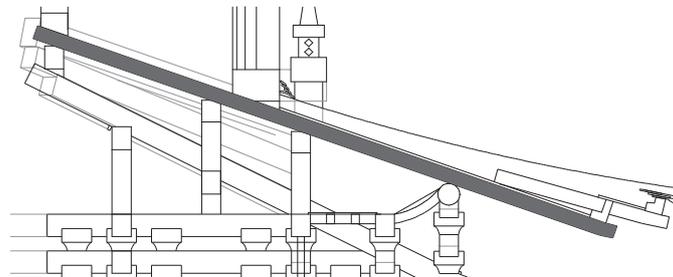
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
丸桁の径 (mm)	<b>295</b>						
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	68315	68315	68315	68315	68315	68315	68315
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515
断面検定							
M	17.6	19.3	21.8	20.7	24.8	25.5	28.5
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	7.00	7.65	8.63	8.21	9.83	10.13	11.32
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.66	0.72	0.81	0.77	0.92	0.95	1.06
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	38.0	40.8	44.8	40.6	44.0	54.8	54.8
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.74	0.80	0.88	0.79	0.86	1.07	1.07
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.71	0.76	0.83	0.76	0.82	1.02	1.02
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

### 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

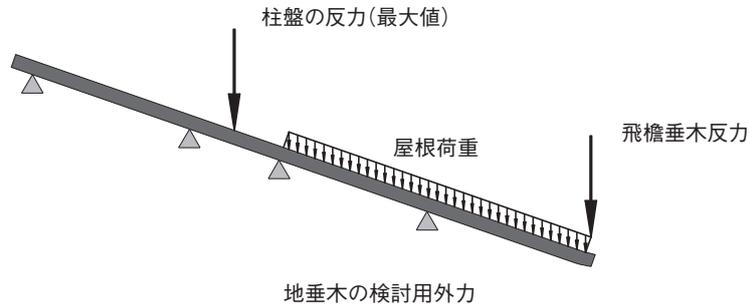
#### 1) 検討対象および方法

- ・地垂木の検討対象は、先端から内部引込み端までの全長とする。



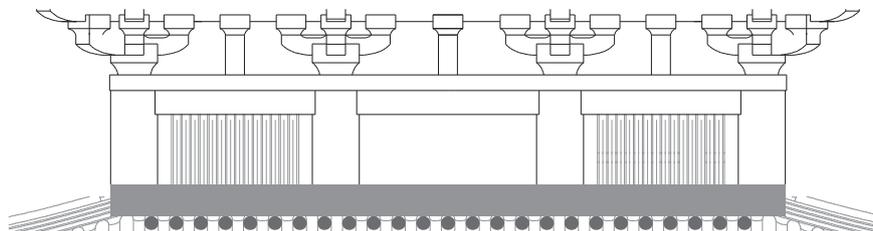
地垂木の検討範囲

- ・先端の飛檐垂木から伝わる力を外力として考慮する。
- ・瓦葺き範囲は、固定荷重として考慮する。
- ・上層の側柱に長期に生じる軸力が柱盤を介して伝わる力を外力として考慮する。
- ・柱盤からの外力は、柱盤の剛性、柱位置および配置により、垂木ごとに値が異なる。
- ・地垂木の断面検定において、柱盤からの外力は最大値を採用する。

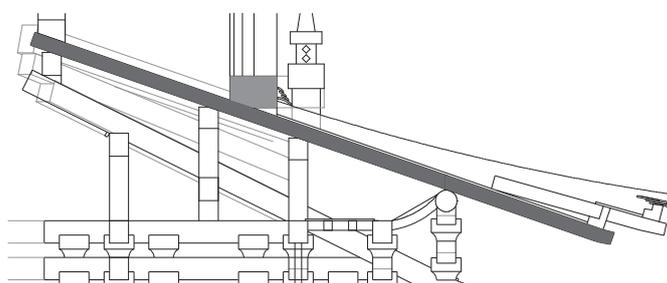


- ・地垂木検討用の柱盤からの外力(柱盤の反力)を設定する方法は、次項に示す。あわせて、柱盤の応力-変形も求め、柱盤の断面検定もおこなう。

- ・柱盤は、上層の柱を受ける横架材である。
- ・柱盤の両端は隅木で支えられている。両端以外は柱盤の説明図(2)に示すとおり、直下の複数本の地垂木で支えられている。

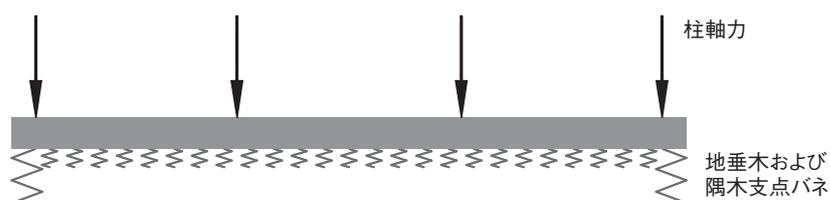


柱盤の説明図(1)



柱盤の説明図(2)

- ・柱盤は、側柱に長期に生じる軸力を受ける弾性支承上の梁として、反力および応力-変形を求める。支点は、柱盤両端の隅木と柱盤直下のすべての地垂木とする。支点のバネは圧縮専用バネとし、隅木および垂木のたわみ量を元に設定する。
- ・側柱に長期に生じる軸力は、架構解析により求めた値を採用する。

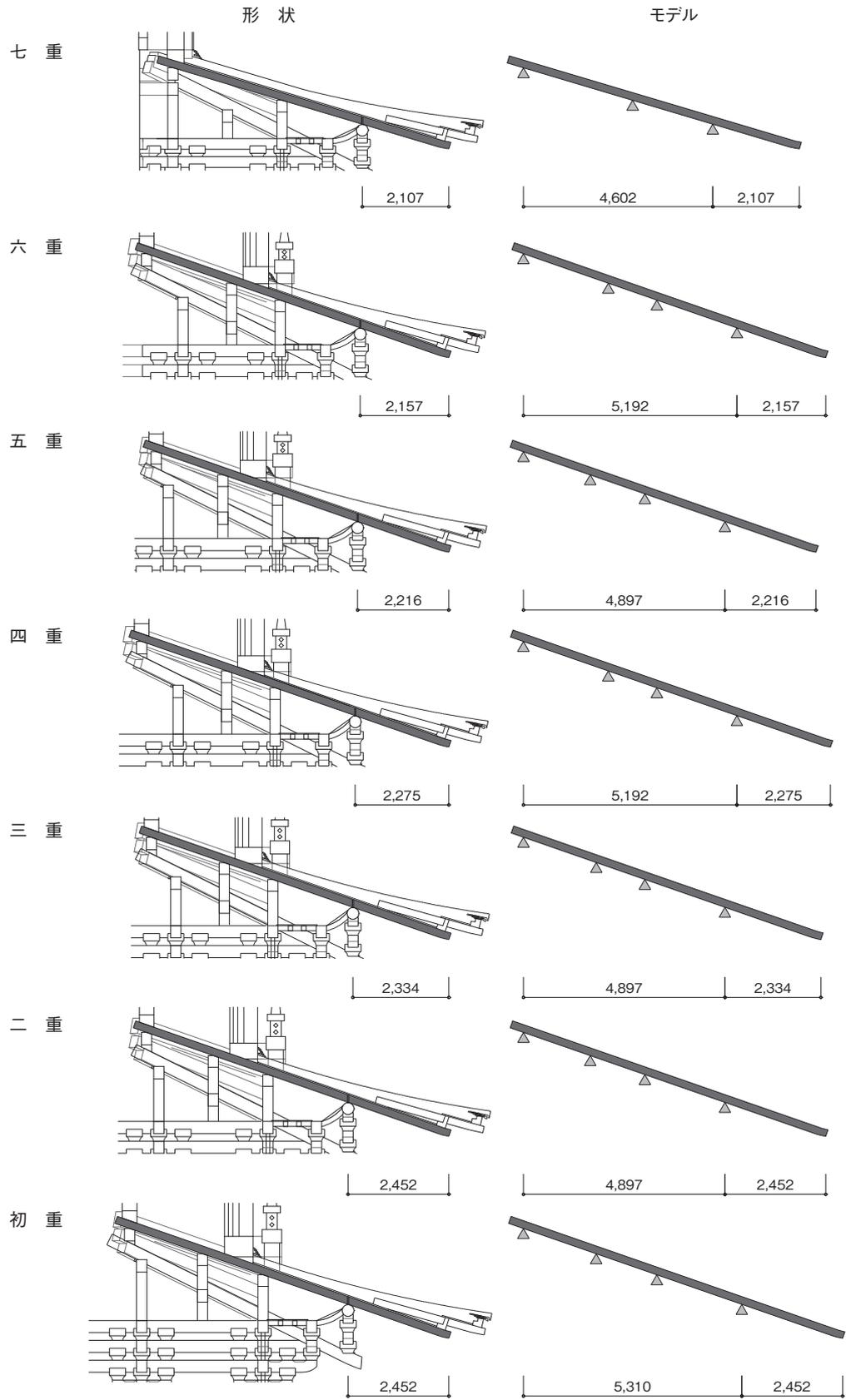


柱盤の応力算定モデル

- ・地垂木および柱盤の応力と変形は、FEM解析による。

## 2) 検討用寸法一覧

### a) 地垂木の検討寸法とモデル

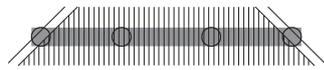


b) 柱盤の検討寸法とモデル

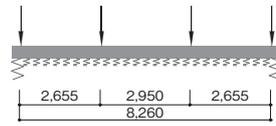
形状

モデル

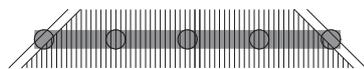
七重



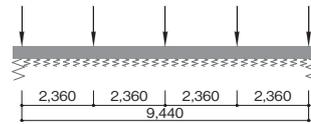
地垂木 25本



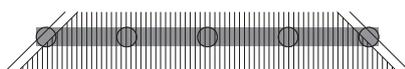
六重



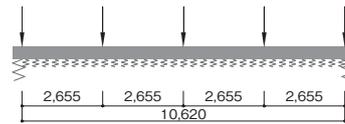
地垂木 29本



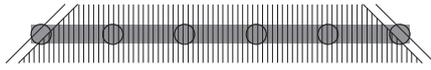
五重



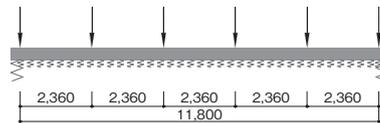
地垂木 33本



四重



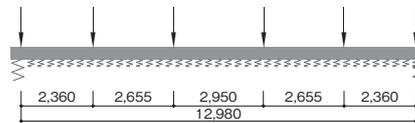
地垂木 37本



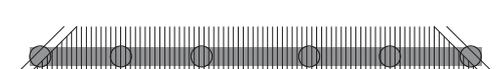
三重



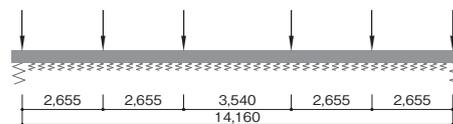
地垂木 41本



二重



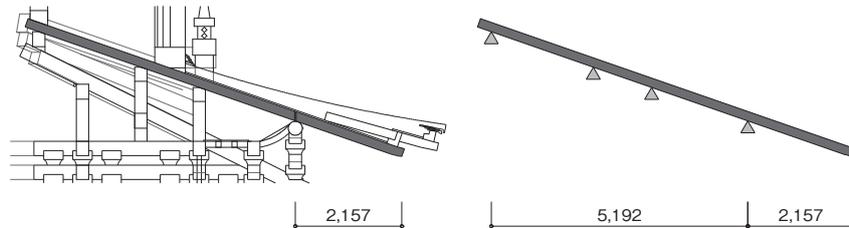
地垂木 45本



### 3) 検討結果

#### a) 地垂木

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置



(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329
木負	64	64	64	64	64	64	64
先端集中荷重 P	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
等分布荷重 w (自重含)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	2.107	2.157	2.216	2.275	2.334	2.452	2.452
丸桁位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	10.5	11.0	12.2	13.0	13.6	15.0	15.0
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	0.85	0.90	0.99	1.06	1.11	1.22	1.22
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.19	0.29	0.19	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
柱盤位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	7.4	13.5	18.2	21.2	26.3	33.5
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.60	1.10	1.48	1.73	2.14	2.73
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	0.66	0.82	1.05
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	0.5	0.8	1.2	1.4	1.6	1.9
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.76	1.14	1.33	1.52	1.81
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.76	0.90
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	NG	NG	NG	NG
【参考】 たわみ							
弾性たわみ (合計)	33.0	36.0	44.0	50.0	54.0	67.0	72.0
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	66	72.0	88.0	100.0	108.0	134.0	144.0
たわみ角	1/32	1/30	1/25	1/23	1/22	1/18	1/17

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

b) 柱 盤

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

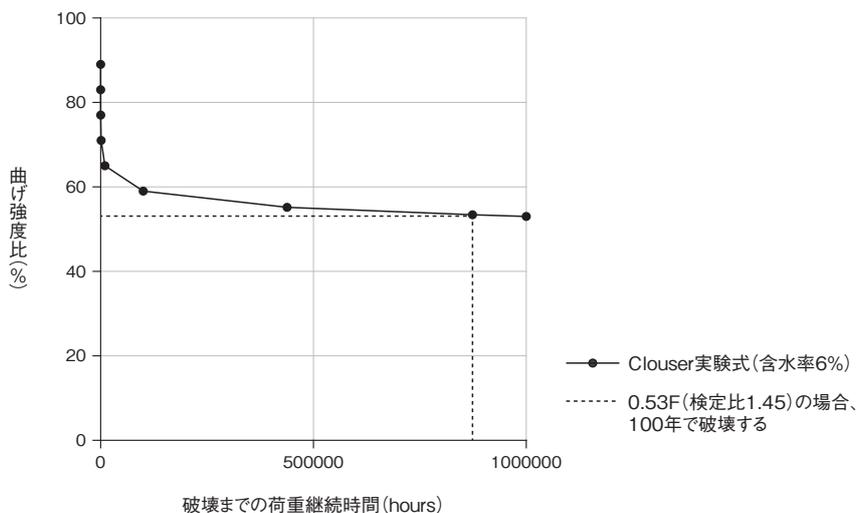


(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	620	634	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	413	413	413	413	413	502
断面検定						
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.8	2.6	4.7	5.0	6.1	5.5
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
$L_{fb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.17	0.60	0.44	0.47	0.57	0.51
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.3	0.5	1.0	1.1	1.3	1.3
$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_{fs}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.48	0.95	1.05	1.24	1.24
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

地垂木の長期曲げ検定比は1.00を超えて2.73に至る。一般に長期に生じる曲げ応力度が、長期許容応力度と短期許容応力度の中間値の場合、約50~100年で折れるとされている。彰国社「建築構造学大系22 木構造(昭和41年6月)」134頁に示されるClouser 実験式(含水率6%)をグラフにして示す。



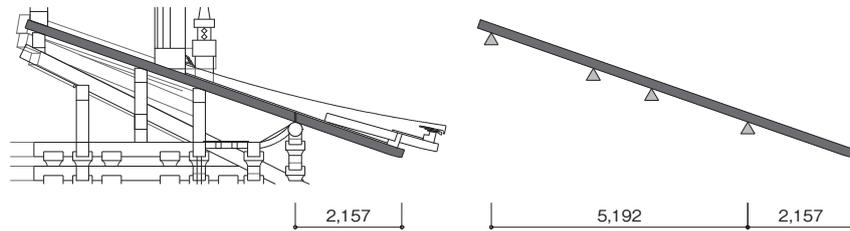
破壊までの荷重継続時間と強度比

#### 4) 参考検討

参考検討として、柱盤下の地垂木のうち、許容値(検定比1.45)超過部材の剛性が80%に低下すると仮定し、柱盤の反力が再配分された場合の検討をおこなった。

##### a) 地垂木 (初重～四重)

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置
- ・地垂木の剛性低下考慮



(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	-	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	-	-	-	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	-	-	-	329	329	329	329
木負	-	-	-	64	64	64	64
先端集中荷重 P	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
等分布荷重 w (自重含)	-	-	-	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	-	-	-	2.275	2.334	2.452	2.452
丸桁位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	13.6	13.6	15.0	15.0
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材 $1.15 \times Lfb$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	-	-	1.11	1.11	1.22	1.22
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3
$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times Lfs$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	-	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	17.1	20.1	24.0	28.8
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材 $1.15 \times Lfb$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	-	-	1.39	1.64	1.95	2.34
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.63	0.75	0.90
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	1.1	1.3	1.5	1.6
$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times Lfs$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	-	1.05	1.24	1.43	1.52
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.76
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	OK	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比 $>1.45$ または基準強度に対する比率 $\geq 1.00$ を示す。

## b) 柱盤 (二重～五重)

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・地垂木の剛性低下考慮



(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	-	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	-	-	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	-	-	413	413	413	502
断面検定						
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	4.9	4.7	6.1	5.9
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	32.04	32.04	32.04	32.04
$L_{fb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	-	-	0.46	0.44	0.57	0.55
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	1.0	1.1	1.3	1.4
$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_{fs}$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	-	0.95	1.05	1.24	1.33
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	OK	OK	OK	OK

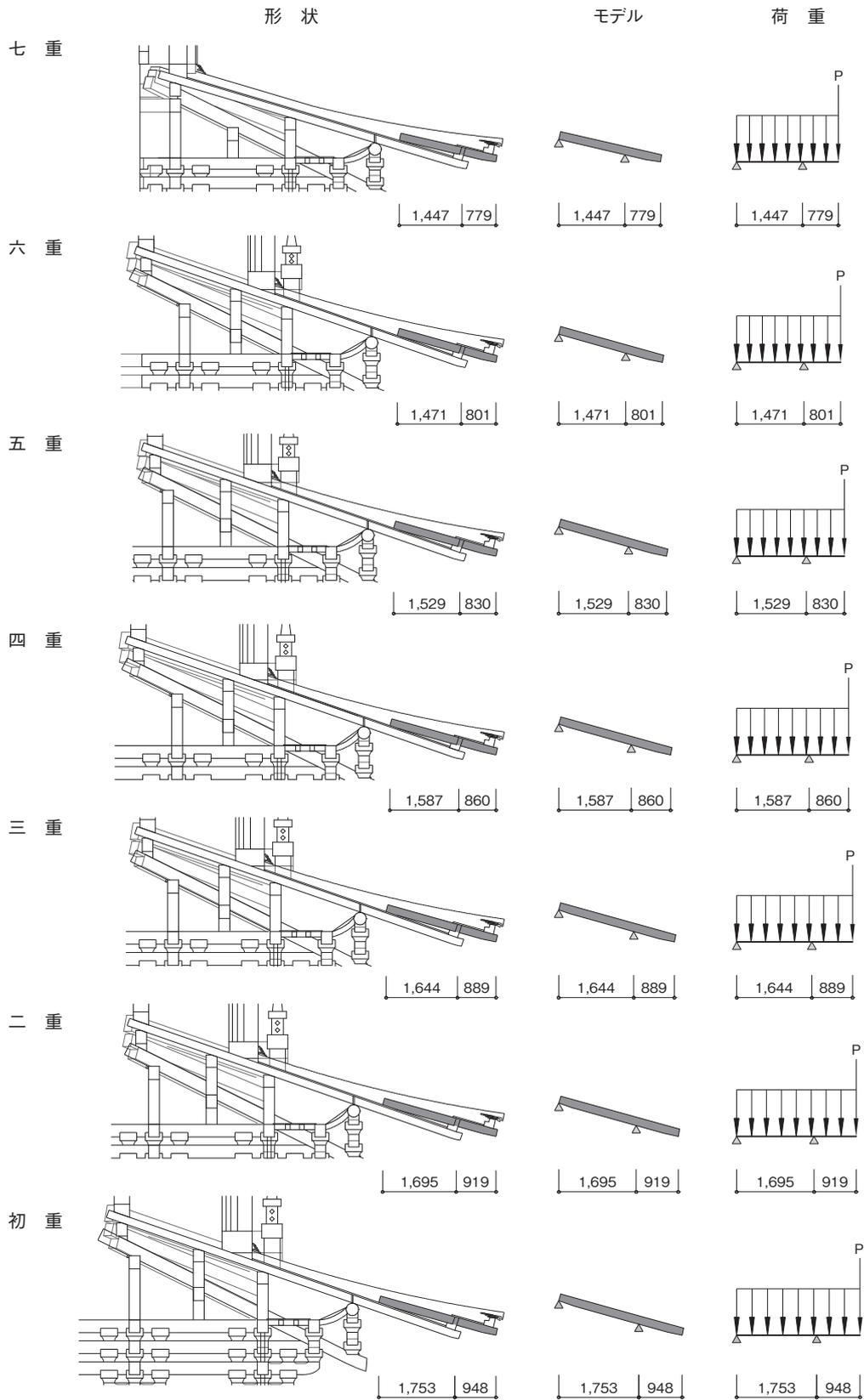
網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

検討の結果、柱盤反力の再配分により、応力および変形は有利側に変動するものの、その差は小さく、地垂木の検定比をクリアするに至らなかった。なお、柱盤の応力度は不利側に変動するも、許容値の範囲内にあることを確認している。

FEM解析による地垂木および柱盤の資料は、章末に添付する。

### 3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

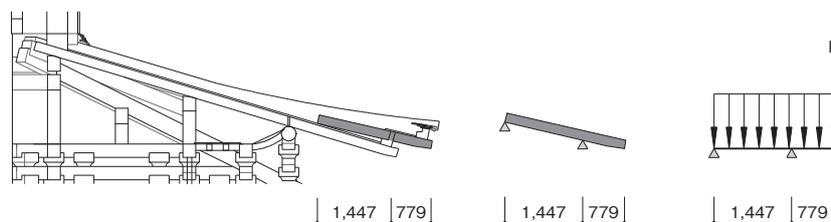
#### 1) 検討用寸法一覧



2) 検討結果

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：無等級 ヒノキ\*<sup>1</sup>
- ・釣り合いの検討と断面検定を表計算にておこなう

\*<sup>1</sup>：曲げ基準強度は 1.2 倍していない。長期せん断許容応力度は 1.5 倍していない。



(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
飛檐垂木の幅 (mm)	165	165	165	165	165	165	165
飛檐垂木の成 (mm)	165	165	165	165	165	165	165
飛檐垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329
軒付瓦	232	232	232	232	232	232	232
茅負	61	61	61	61	61	61	61
先端集中荷重 P	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
等分布荷重 w (自重含)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
出寸法 a	0.708	0.801	0.83	0.86	0.889	0.919	0.948
引込寸法 b	1.447	1.471	1.529	1.587	1.644	1.695	1.753
釣り合いの検討	0.37	0.44	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41
	OK						
断面検定							
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	27225	27225	27225	27225	27225	27225	27225
断面係数 Z (mm <sup>3</sup> )	748688	748688	748688	748688	748688	748688	748688
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719	61766719
M	0.59	0.73	0.77	0.82	0.87	0.92	0.97
σ (N/mm <sup>2</sup> )	0.79	0.97	1.03	1.10	1.16	1.23	1.30
Fb (N/mm <sup>2</sup> )	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
並列材1.15*Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
曲げ検定比	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8
τ (N/mm <sup>2</sup> )	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
せん断検定比	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
	OK						
【参考】 たわみ							
弾性たわみ (先端集中荷重)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
弾性たわみ (等分布荷重)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
弾性たわみ (合計)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
たわみ角	1/1207	1/920	1/795	1/689	1/602	1/531	1/468

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

### 3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

#### 1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。飛檐隅木に長期に生じる応力は、手計算による。

#### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

#### 3) 検討結果

##### 【地隅木】

(単位：kN,m)

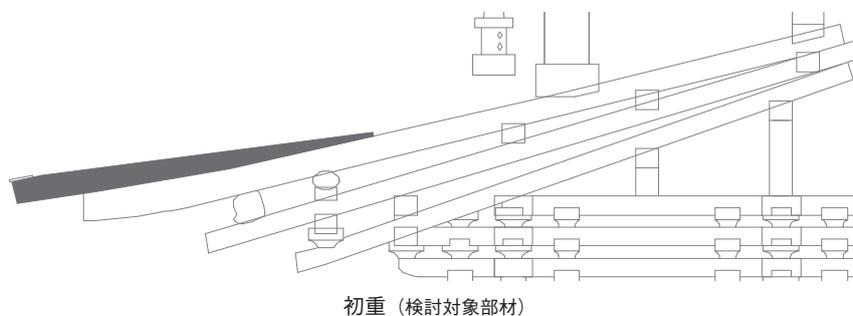
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
地隅木の成 (mm)	375	375	375	375	375	375	375
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	110625	110625	110625	110625	110625	110625	110625
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719
地隅木の断面検定							
M	18.0	78.0	76.0	161.0	171.0	152.0	200.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.60	11.28	10.99	23.29	24.73	21.98	28.93
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.24	1.06	1.03	2.18	2.32	2.06	2.71
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.73	0.77	0.69	0.90
Q	13.0	59.0	159.0	122.0	196.0	332.0	432.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.80	2.16	1.65	2.66	4.50	5.86
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.76	2.05	1.58	2.53	4.29	5.58
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.03	0.79	1.27	2.14	2.79
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

## 【飛檐隅木】

## a) 基本事項

- ・ 地隅木からの出寸法は、0.92～1.0mである。
- ・ 出寸法の最も大きい初重で検討し、その他の層は検討を省略する。



## b) 検討結果

飛檐隅木(ヒノキ 295 mm×372 mm)

断面性能  $A = 1097 \times 10^2 \text{ mm}^2$ 、 $Z = 6803 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 、 $I = 126552 \times 10^4 \text{ mm}^4$

ヒノキ<sup>\*1</sup>  $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$ 、 $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$ 、 $E = 8820 \text{ N/mm}^2$

\*1 : 曲げ基準強度は1.2倍していない。長期せん断許容応力度は1.5倍していない。

断面検定(断面積・断面係数は0.8倍とする)

屋根荷重  $w = 5700 \text{ N/m}^2$ 、負担幅最大 2.0 m、降棟 1800 N/m

→等分布荷重  $5.7 \times 2.0 + 1.8 = 13.2 \text{ kN/m}$

スパン 1.0mの片持ち梁として検討

設計用  $M_L = 13.2 \times 1.0^2 / 2 = 6.6 \text{ kNm}$

$$\sigma = M_L / Z = 6.6 \times 10^6 / (0.8 \times 6803 \times 10^3) = 1.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma / F_b = 1.2 / (26.7 \times 1/3) = 0.13 < 1.0 \text{ OK}$$

設計用  $Q_L = 13.2 \times 1.0 = 13.2 \text{ kN}$

$$\tau = 1.5Q_L / A = 1.5 \times 13.2 \times 10^3 / (0.8 \times 1097 \times 10^2) = 0.23 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau / F_s = 0.23 / (2.1 \times 1/3) = 0.33 < 1.0 \text{ OK}$$

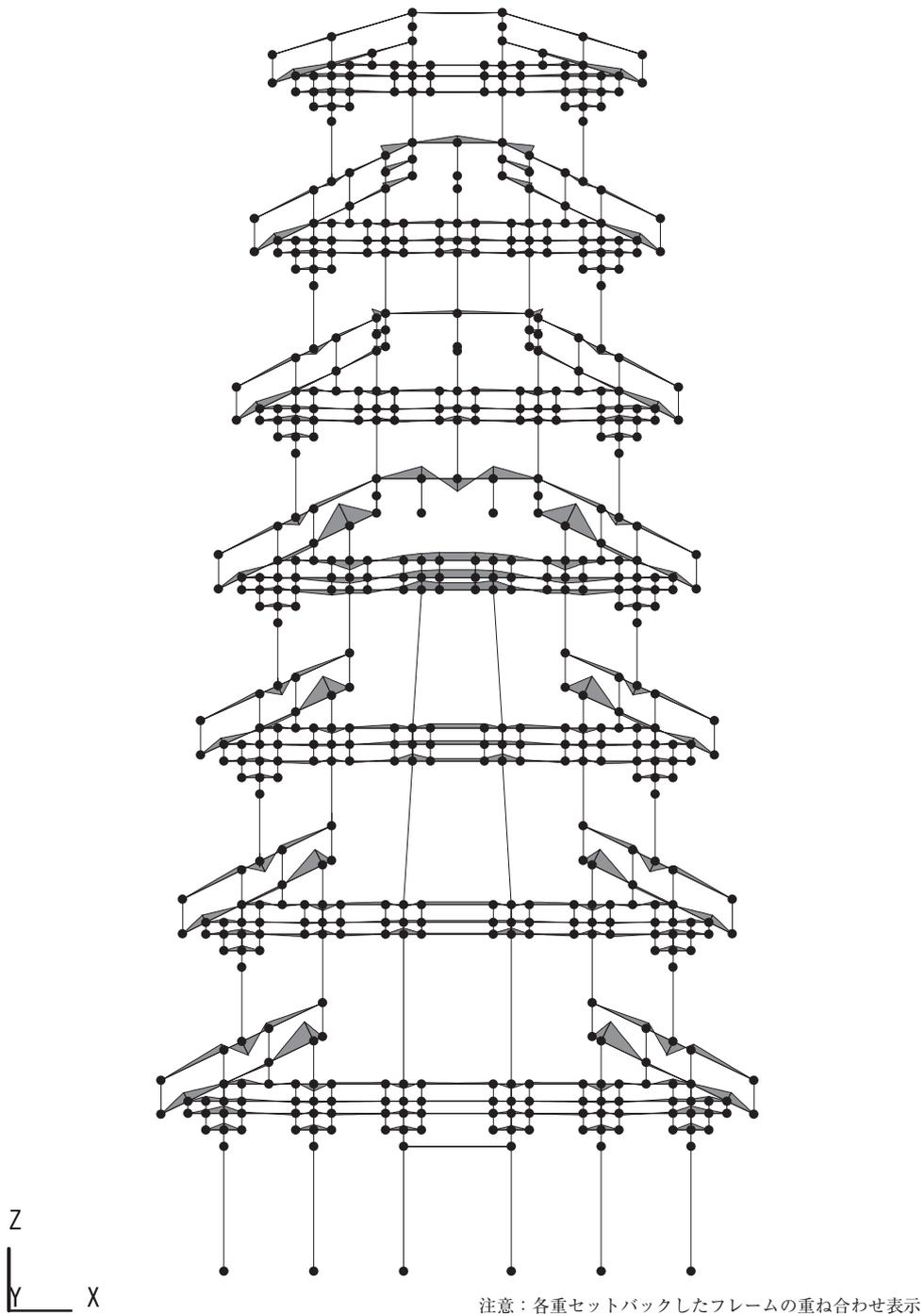
長期弾性たわみ

$$\delta = \frac{wl^4}{8EI} = \frac{13.2 \times 1000^4}{8 \times 8820 \times 126552 \times 10^4} = 0.15 \text{ mm} \rightarrow 1/6666$$

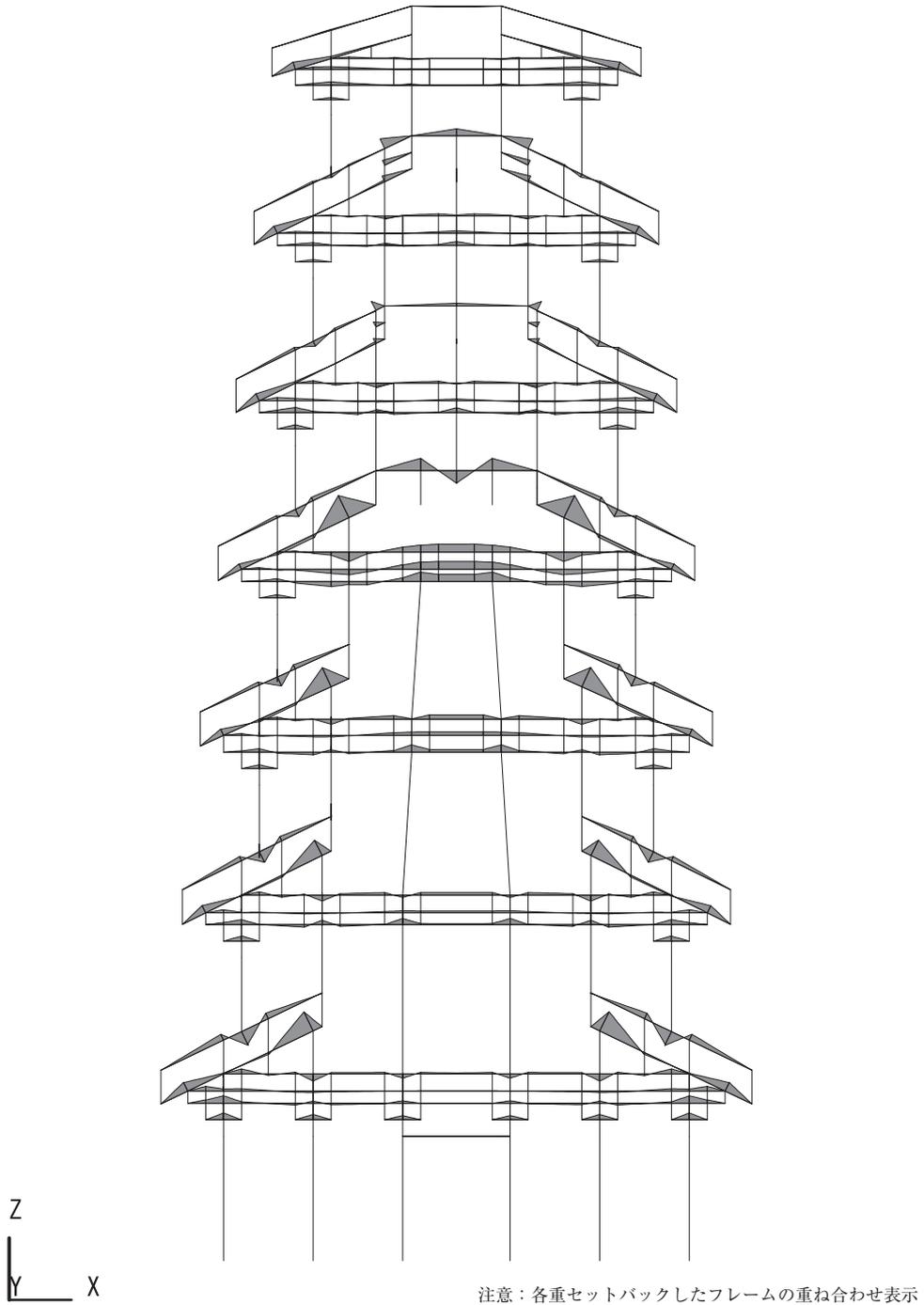
## 4 応力図

### 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図：長期)

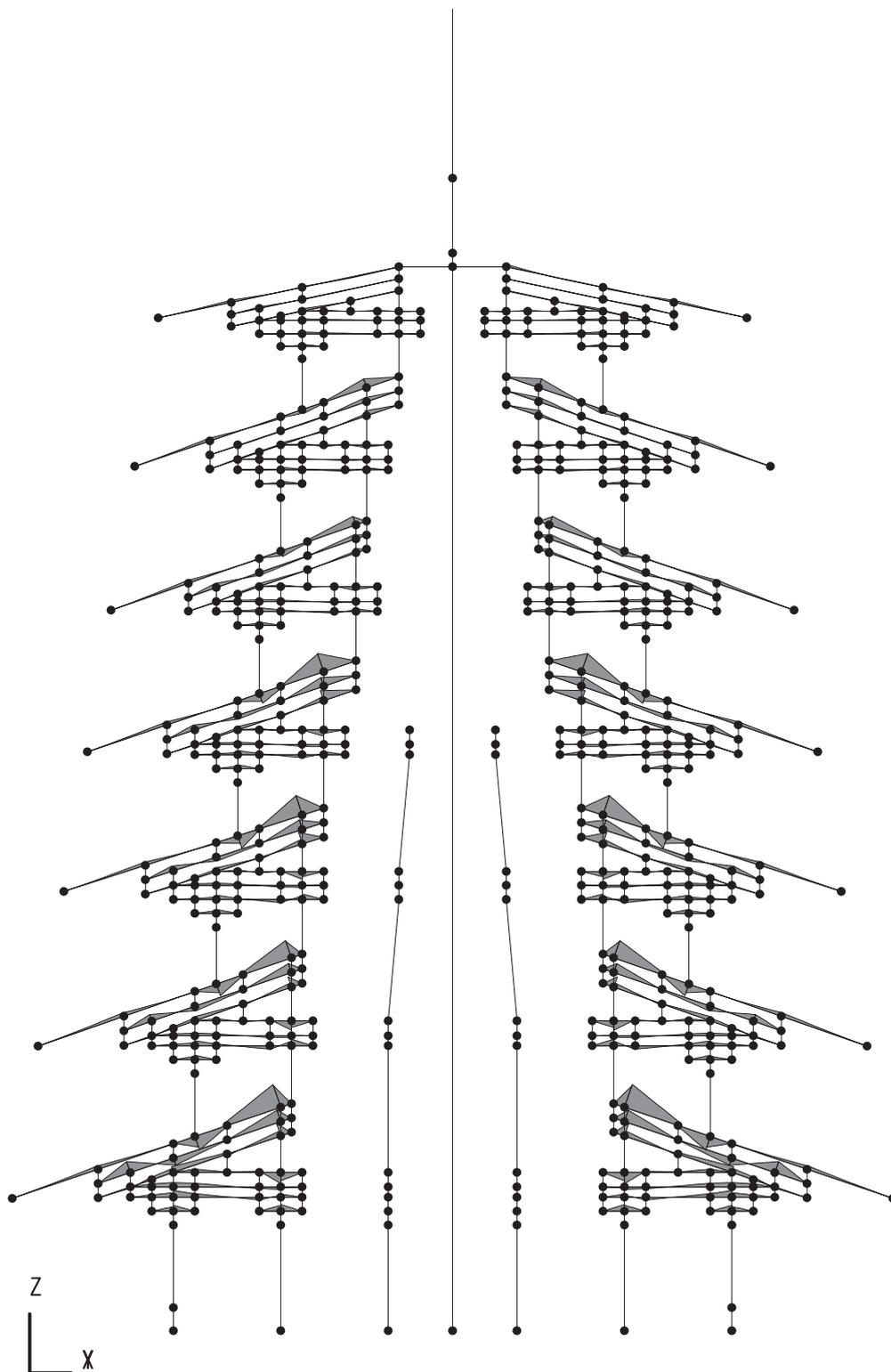


平全体(曲げモーメント図：長期)

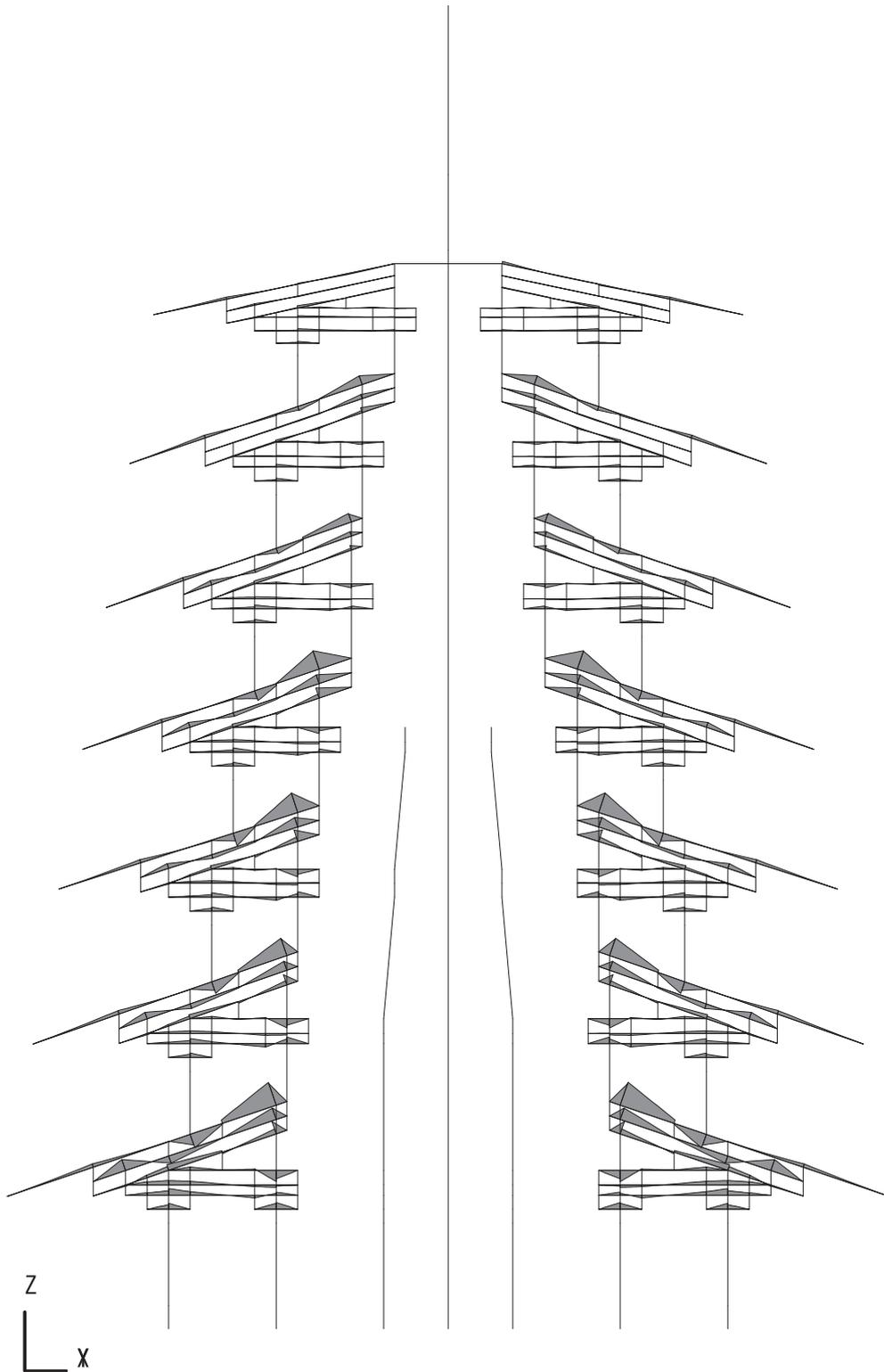


4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図:長期)

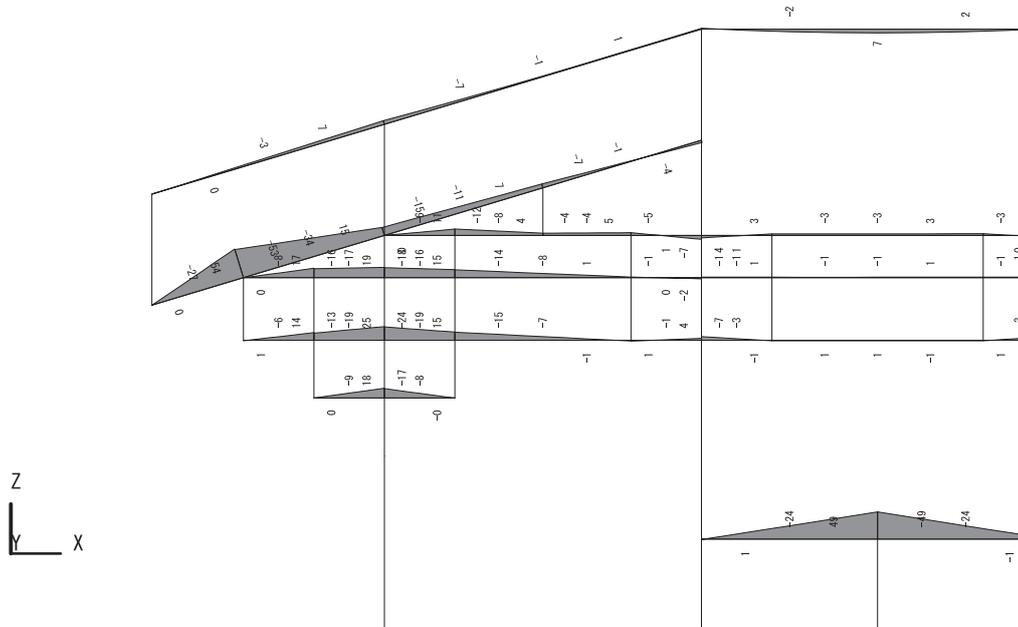


45° (曲げモーメント図：長期)

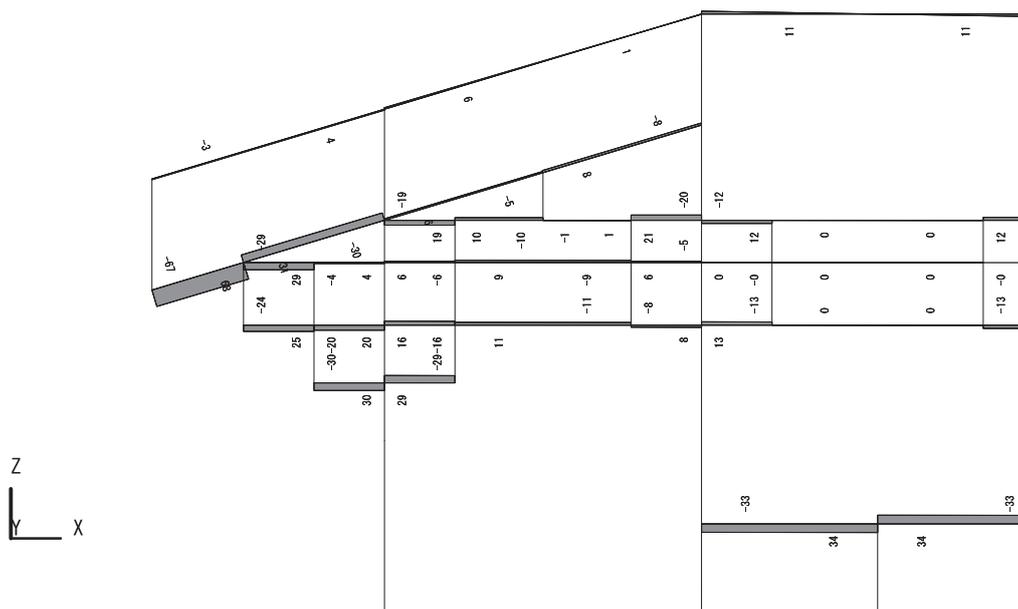


### 4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

Y03+295 (応力図：長期) 七重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



Y03+295 (応力図：長期) 七重尾垂木(平) および肘木 せん断力図 単位：kN

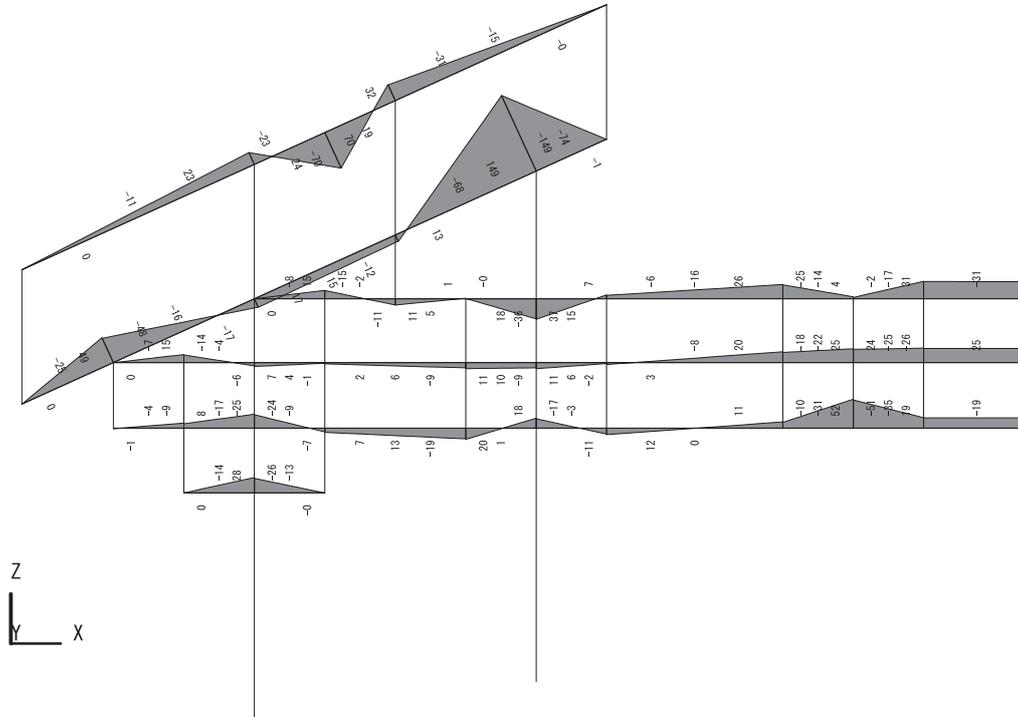




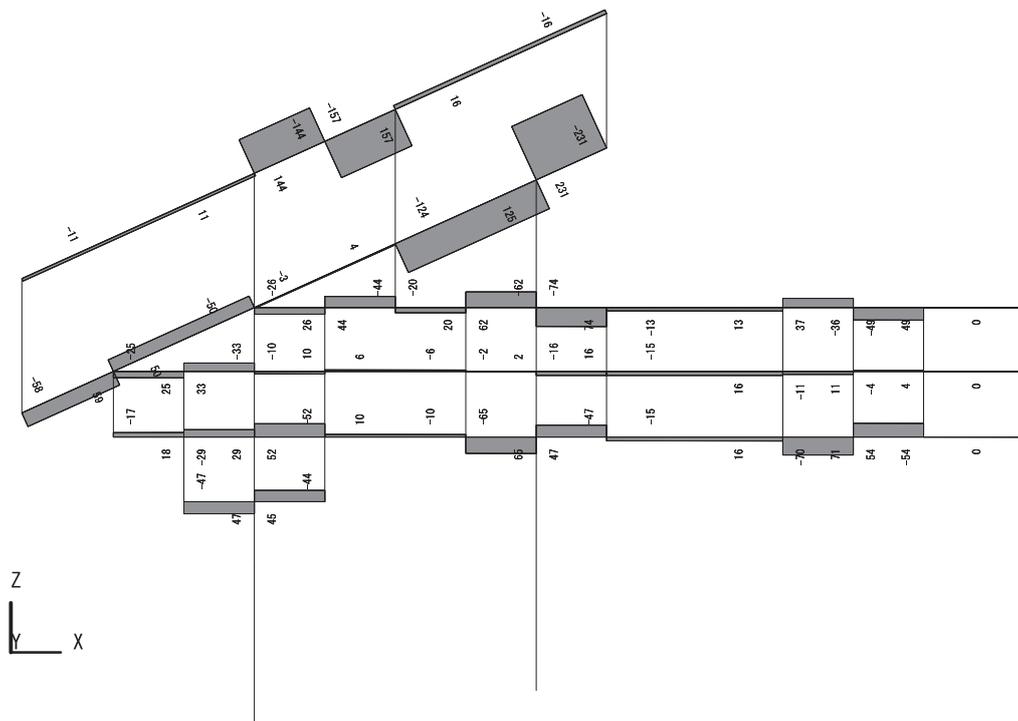




Y03+295 (応力図：長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

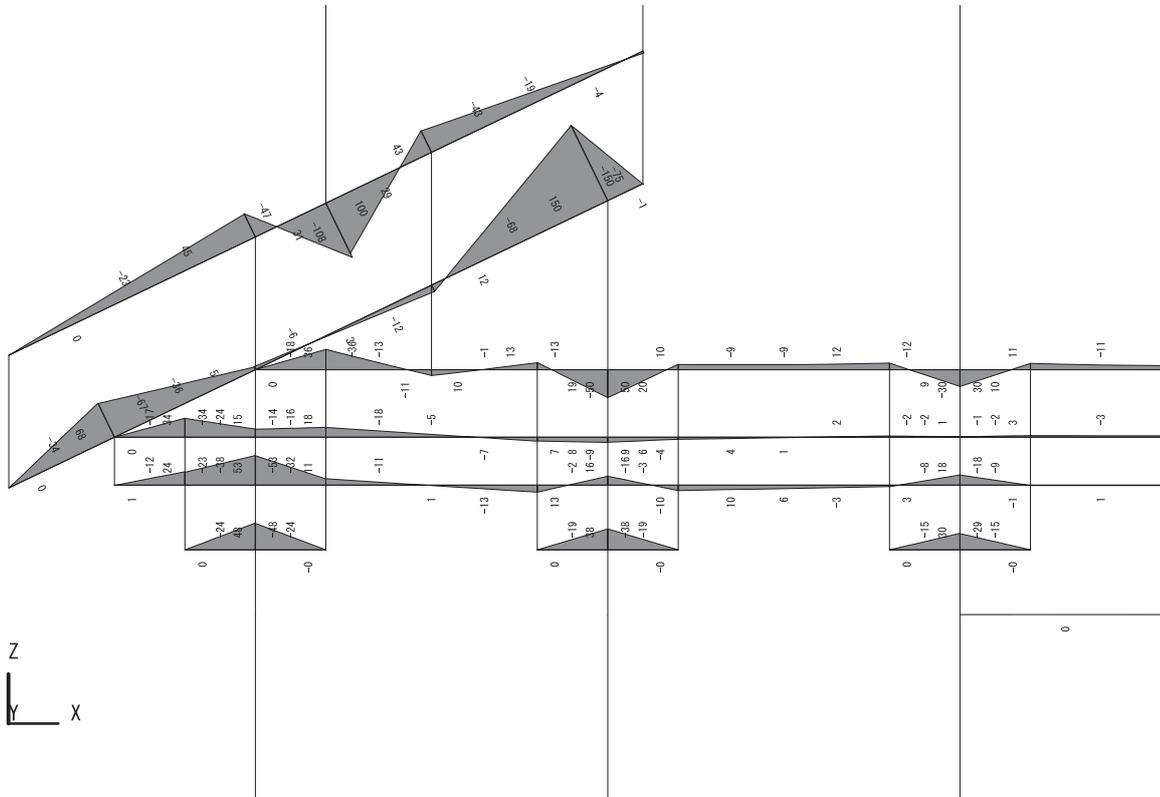


Y03+295 (応力図：長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位：kN

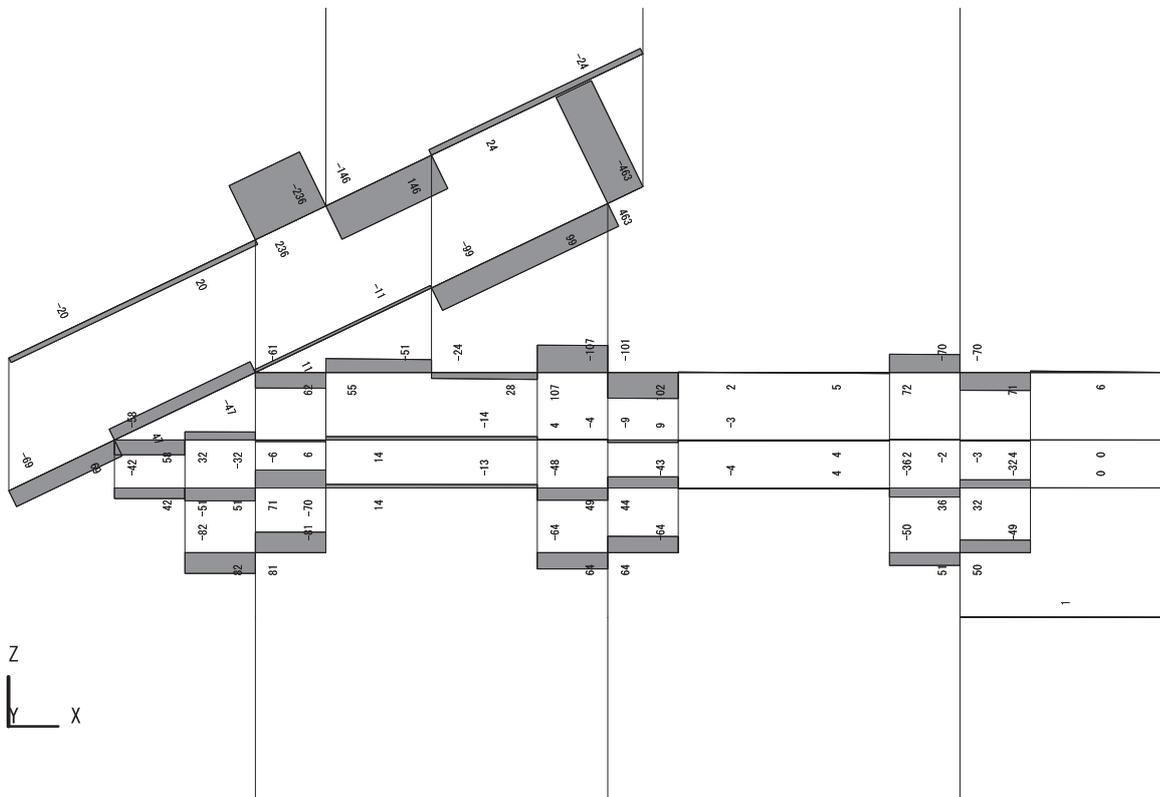




Y03 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

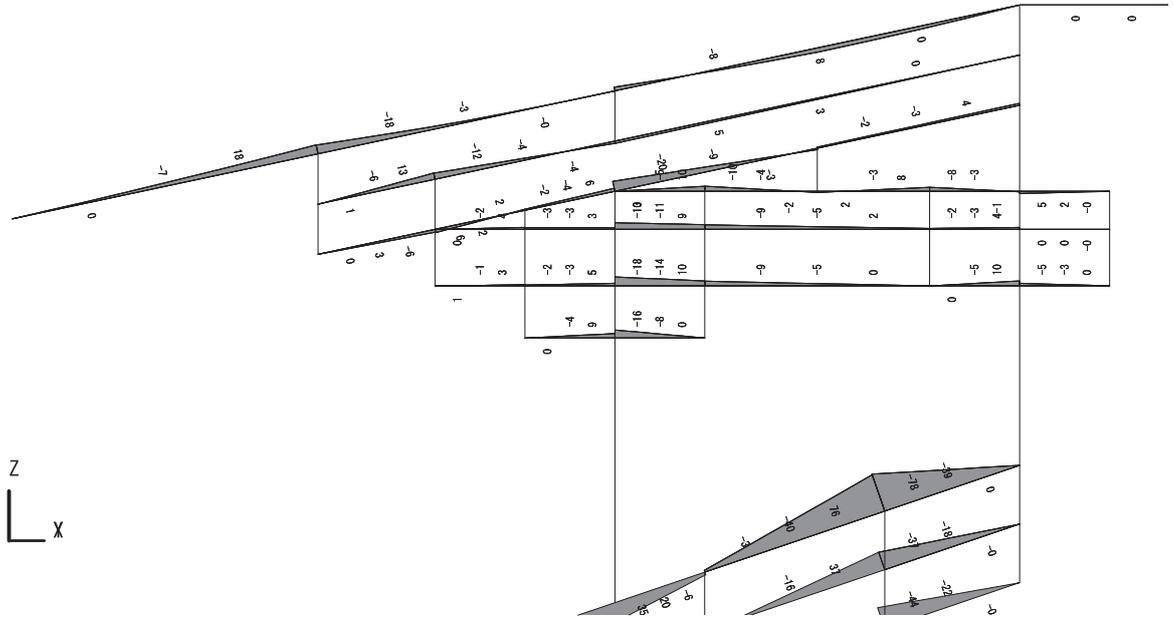


Y03 (応力図：長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位：kN

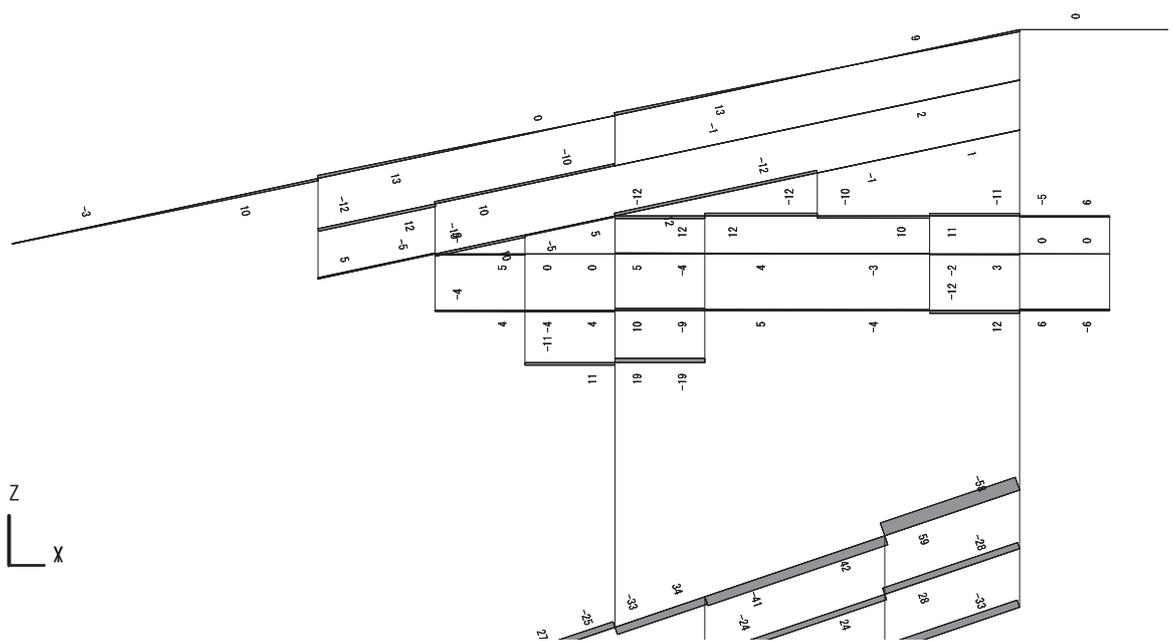


4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

45° (応力図：長期) 七重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

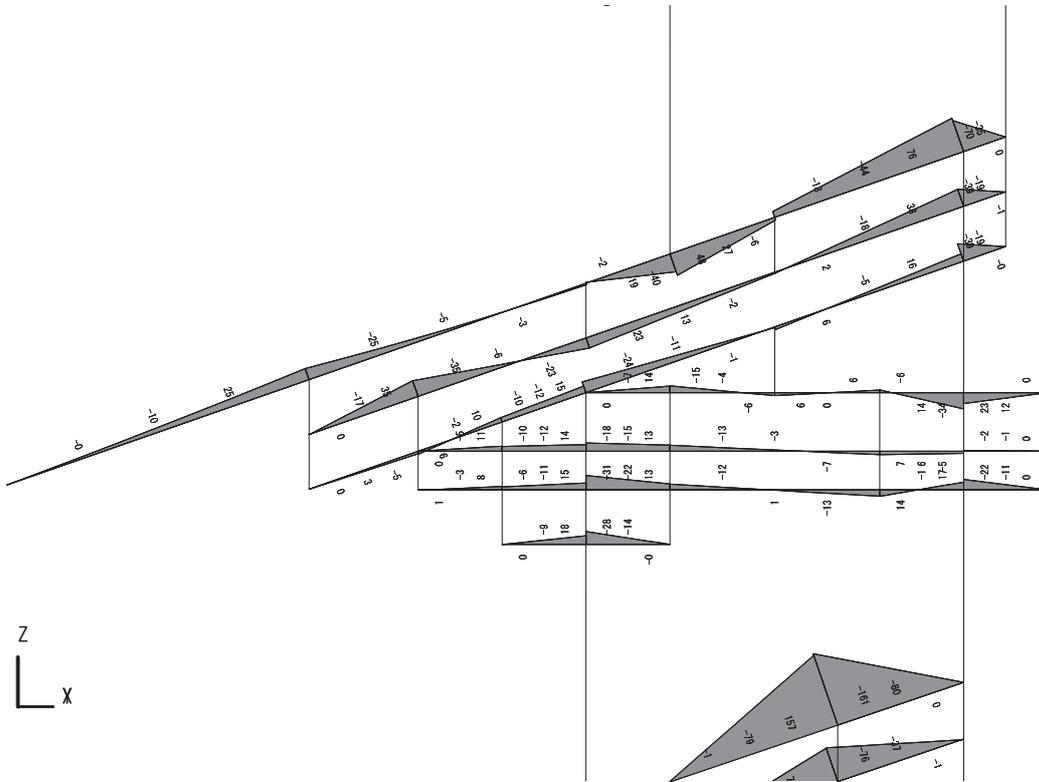


45° (応力図：長期) 七重地隅木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位：kN

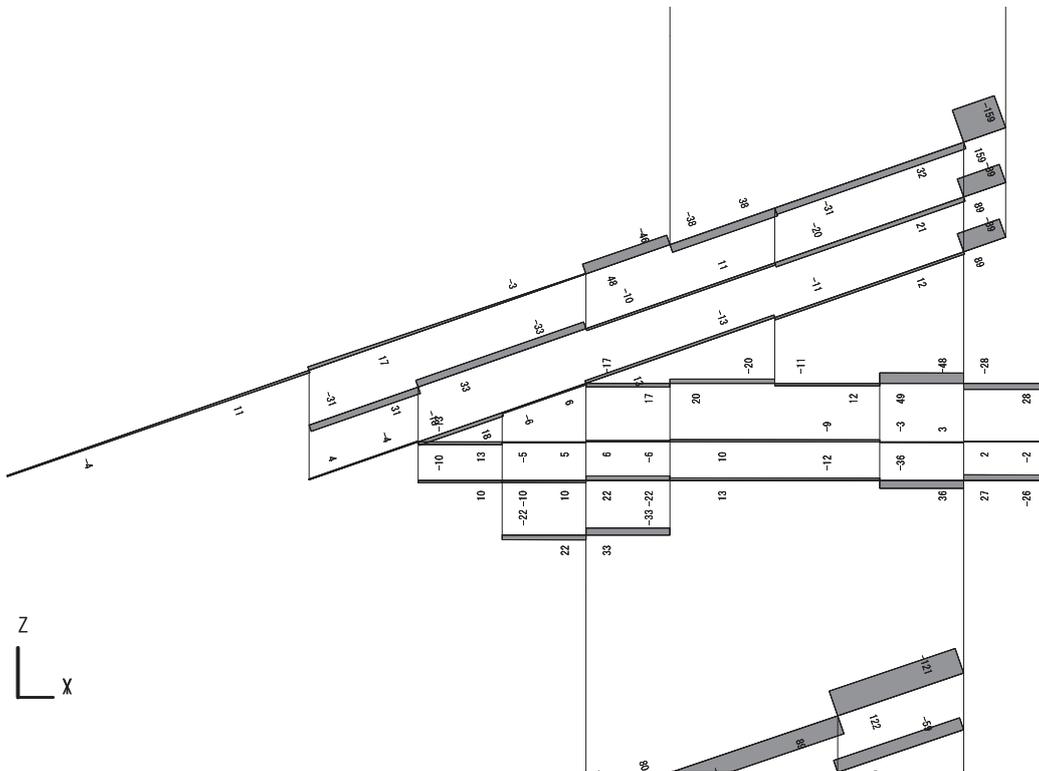




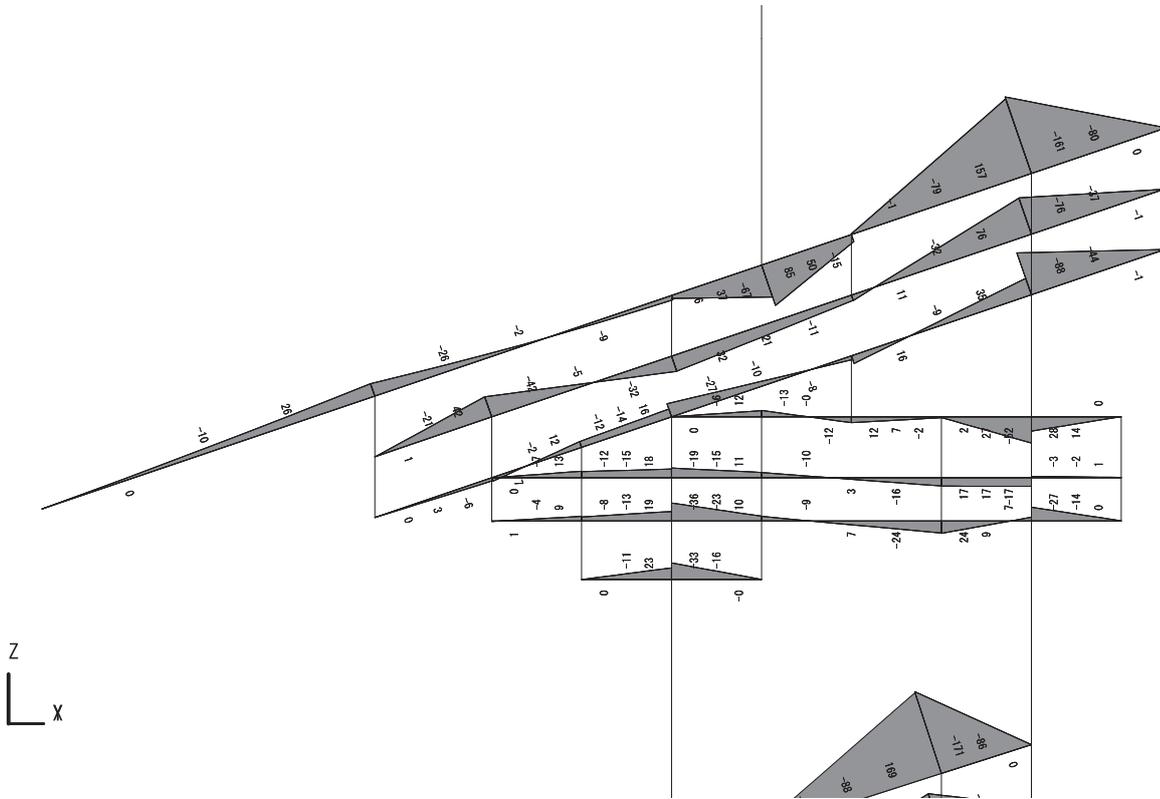
45° (応力図：長期) 五重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



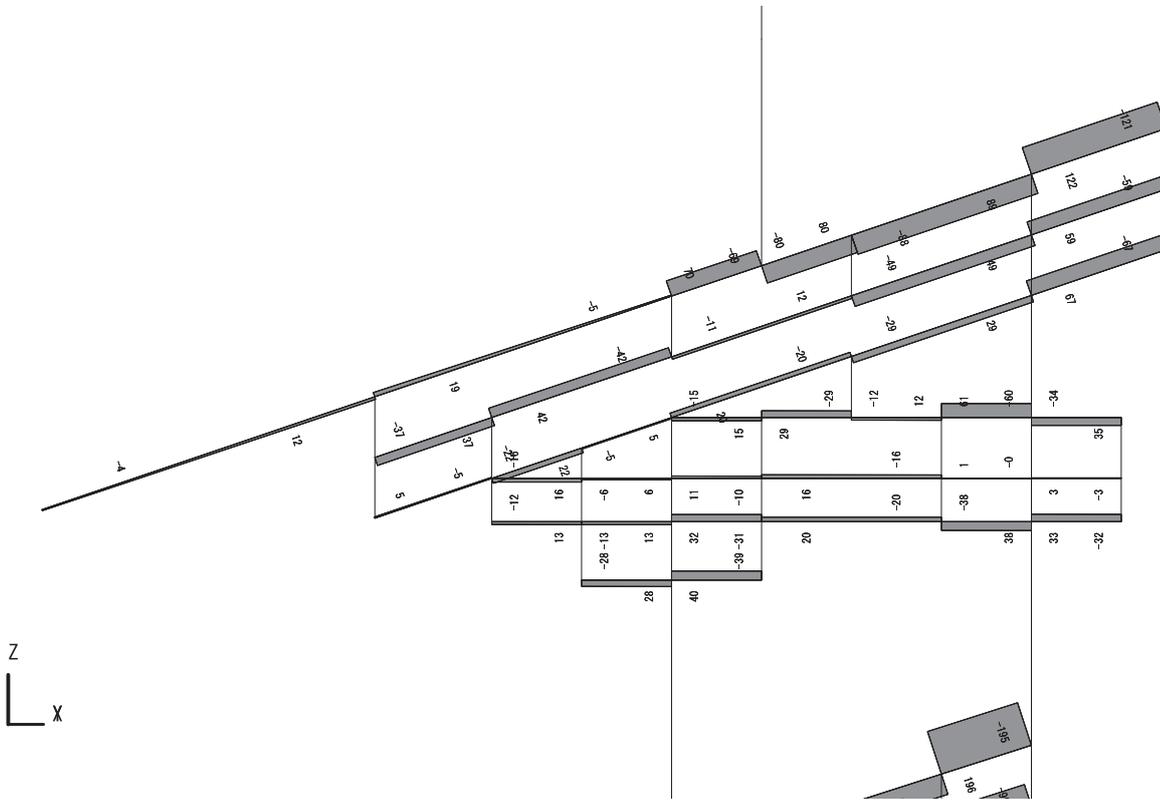
45° (応力図：長期) 五重地隅木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位：kN



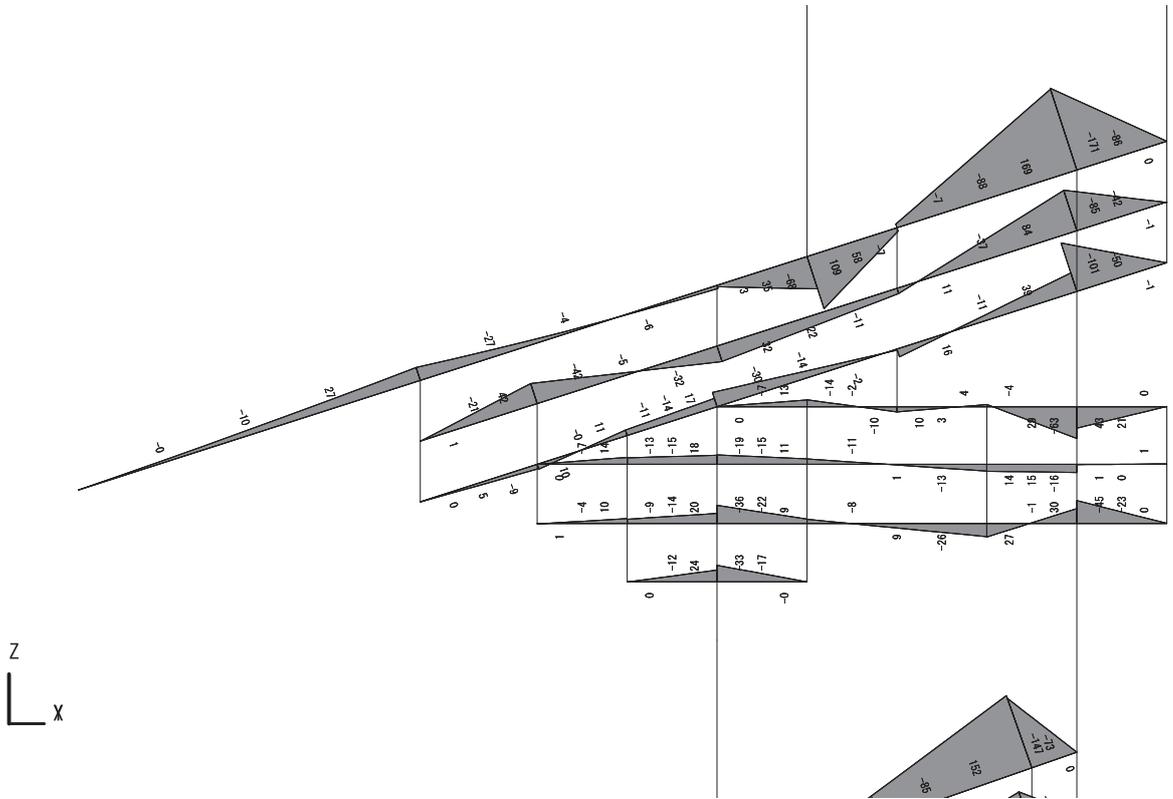
45° (応力図: 長期) 四重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



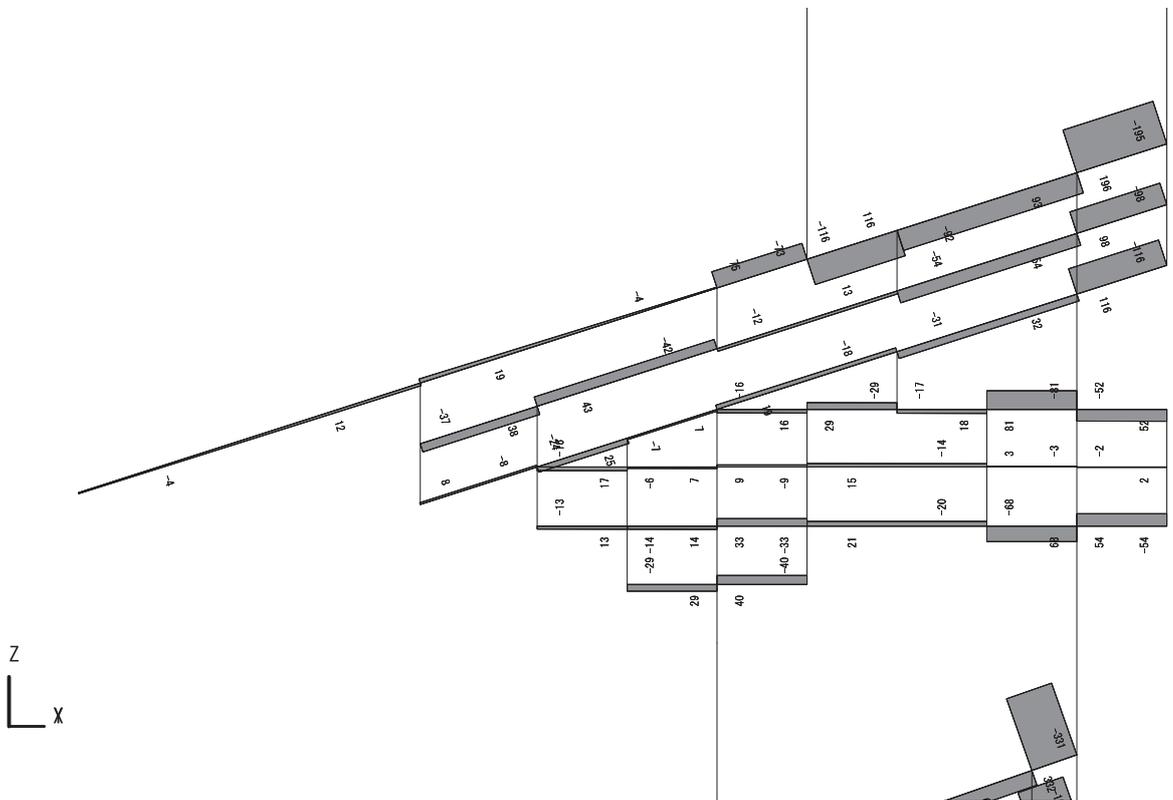
45° (応力図: 長期) 四重地隅木・隅行尾垂木・肘木 セン断力図 単位: kN



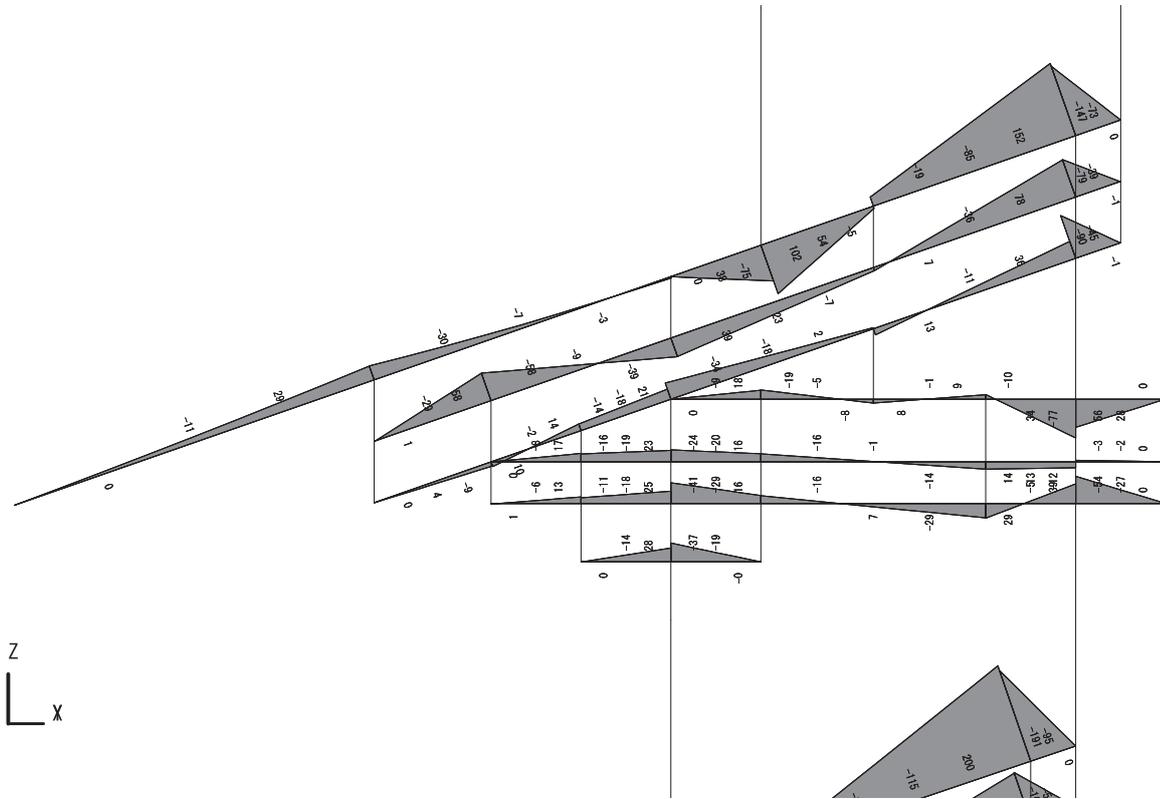
45° (応力図：長期) 三重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



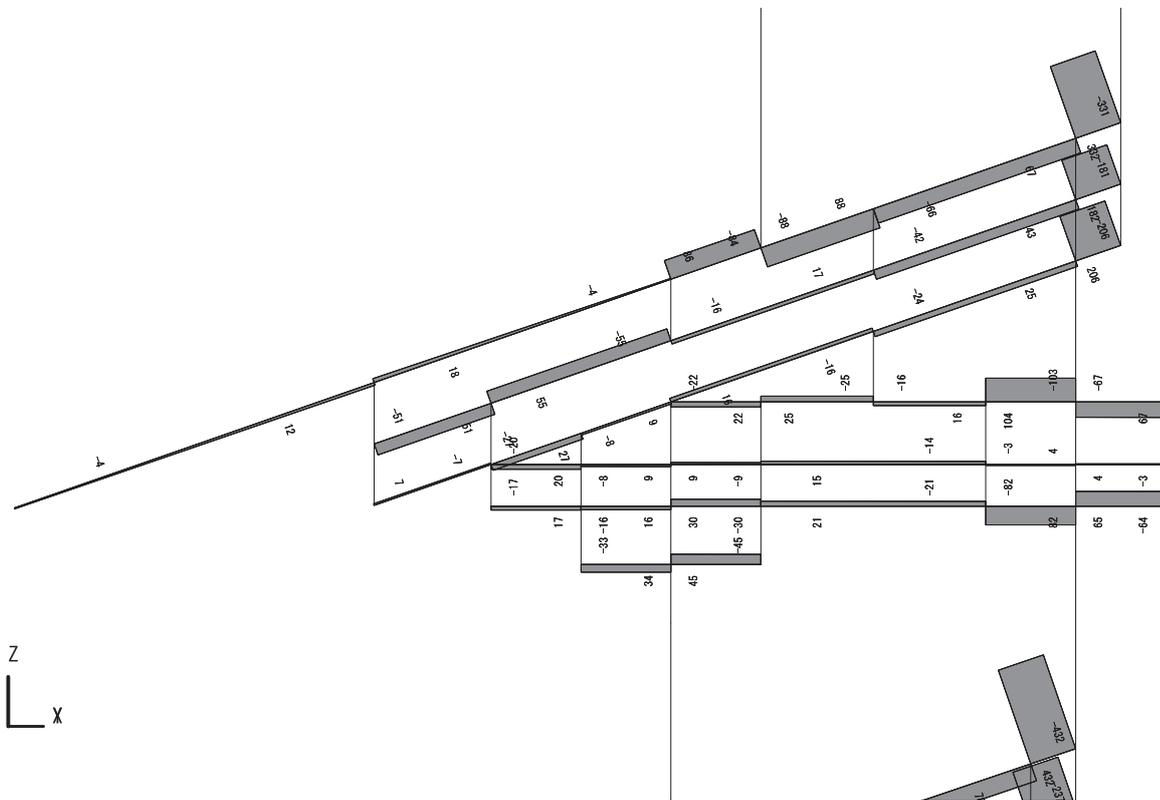
45° (応力図：長期) 三重地隅木・隅行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN



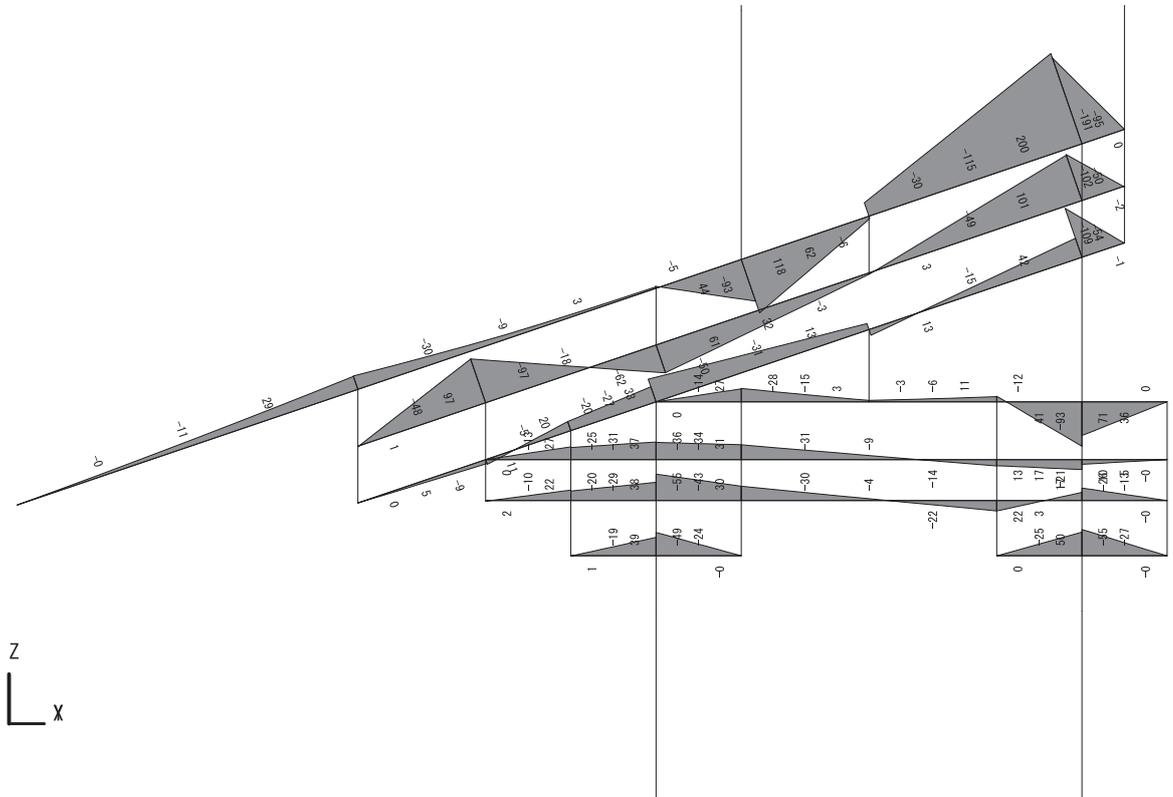
45° (応力図: 長期) 二重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



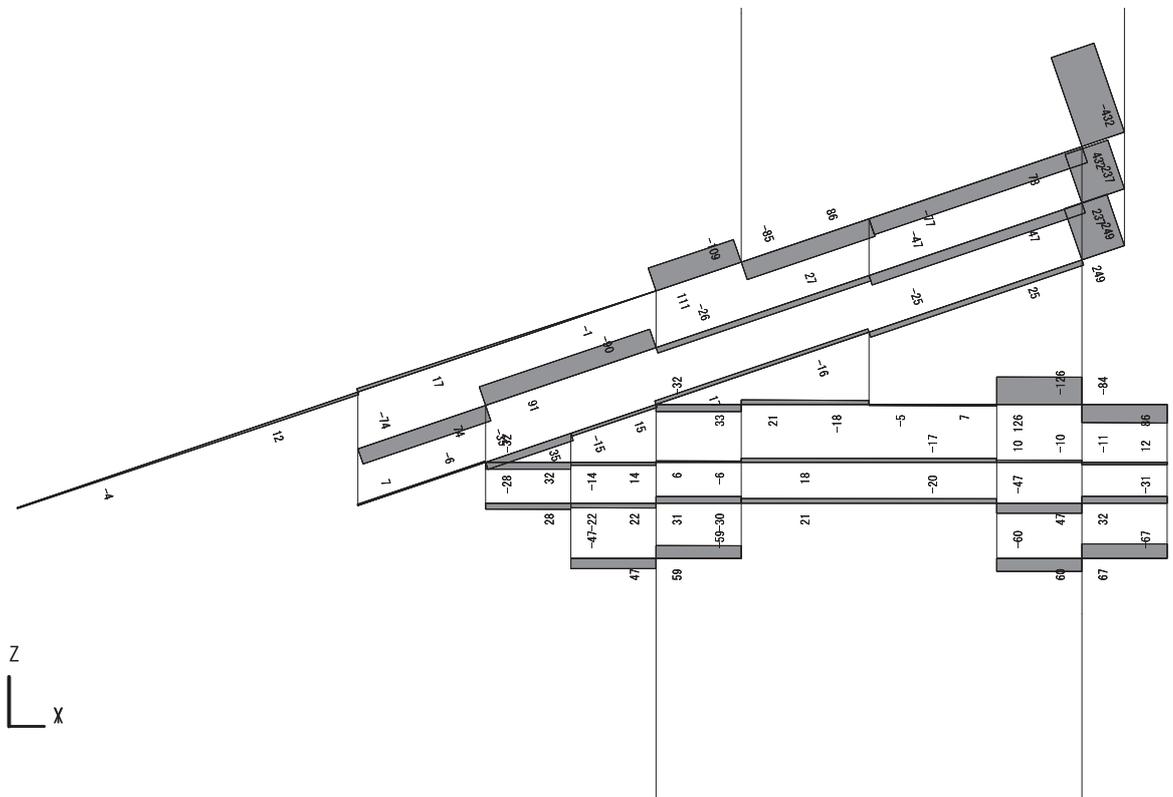
45° (応力図: 長期) 二重地隅木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位: kN



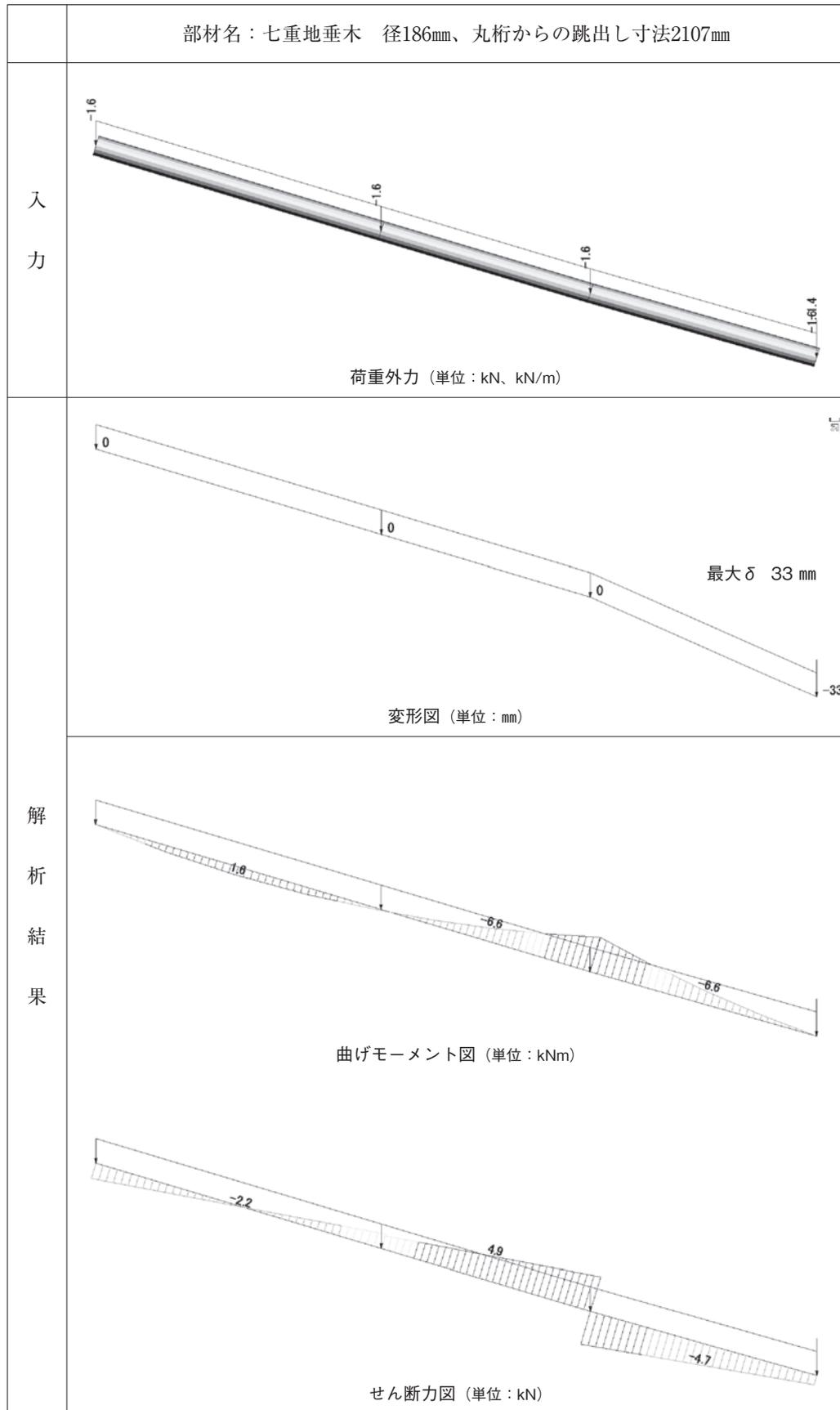
45° (応力図：長期) 初重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

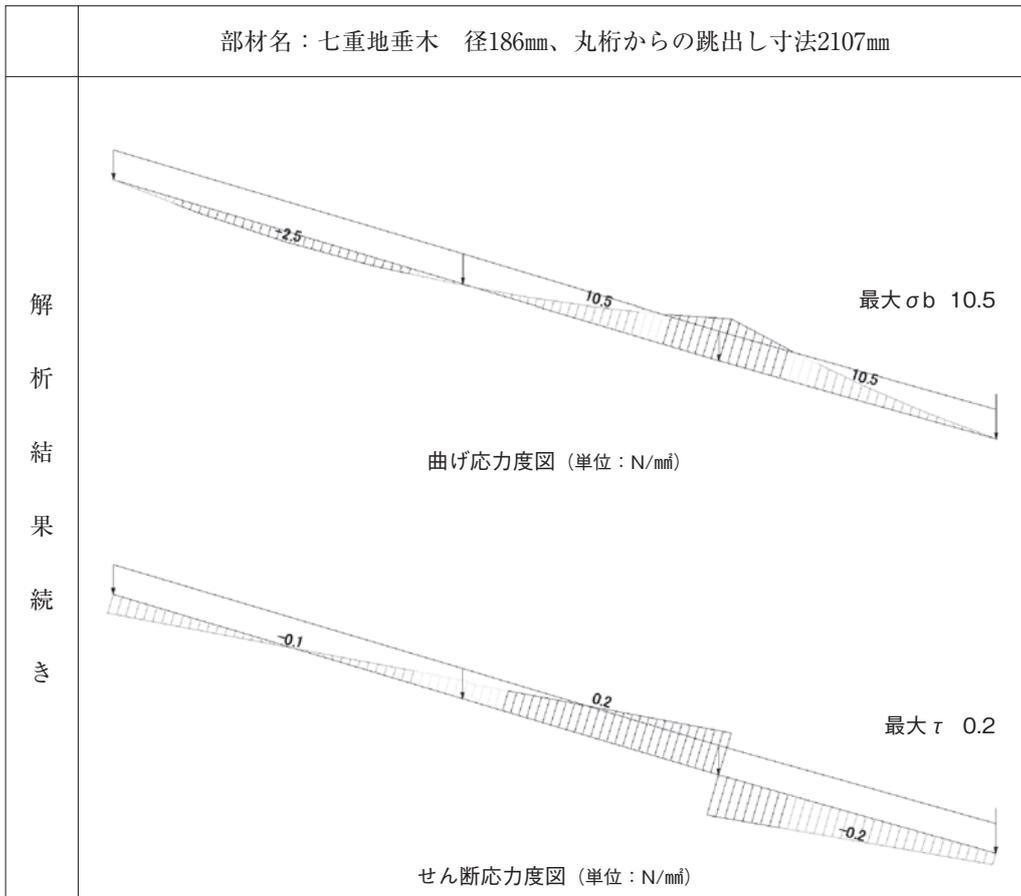


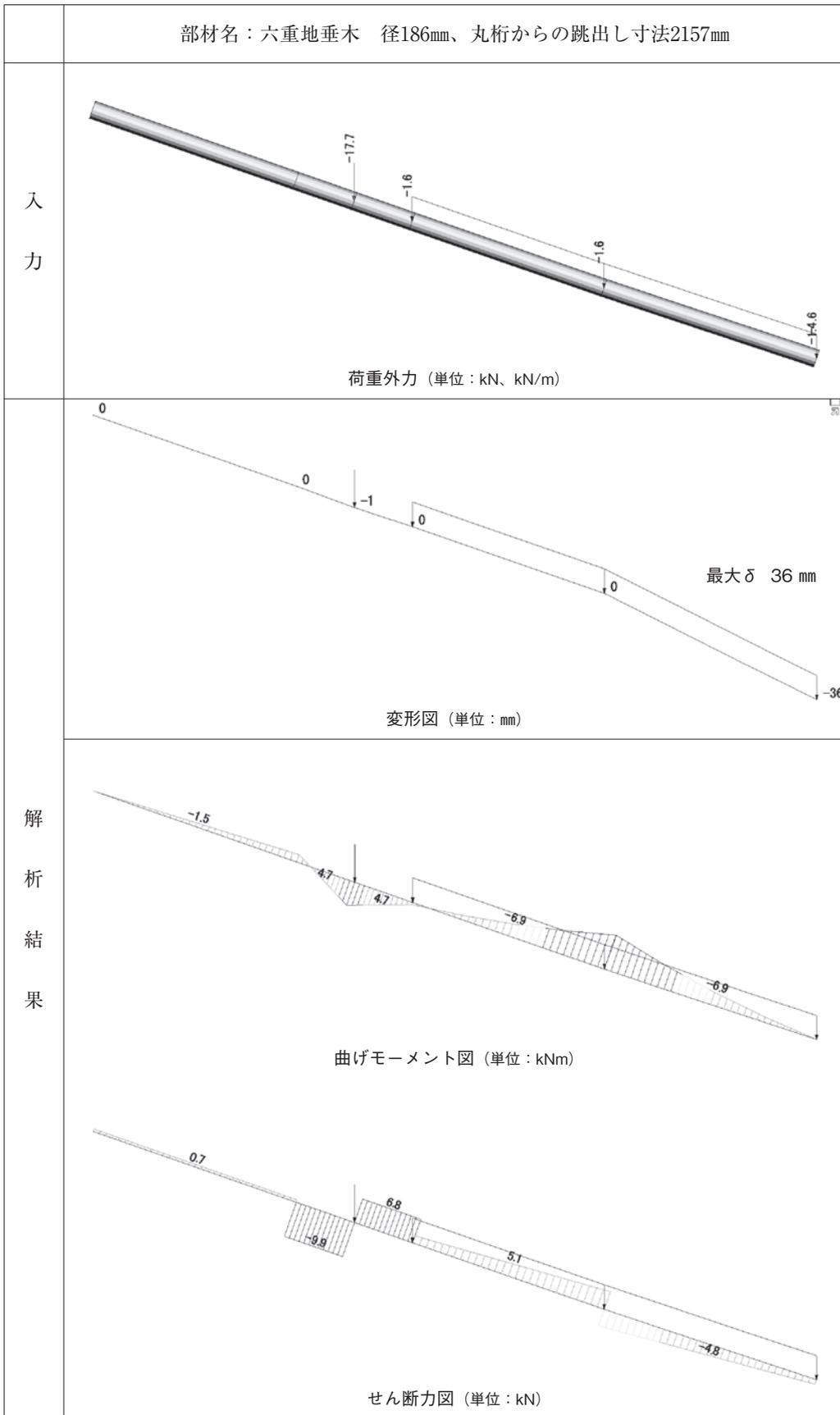
45° (応力図：長期) 初重地隅木・隅行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

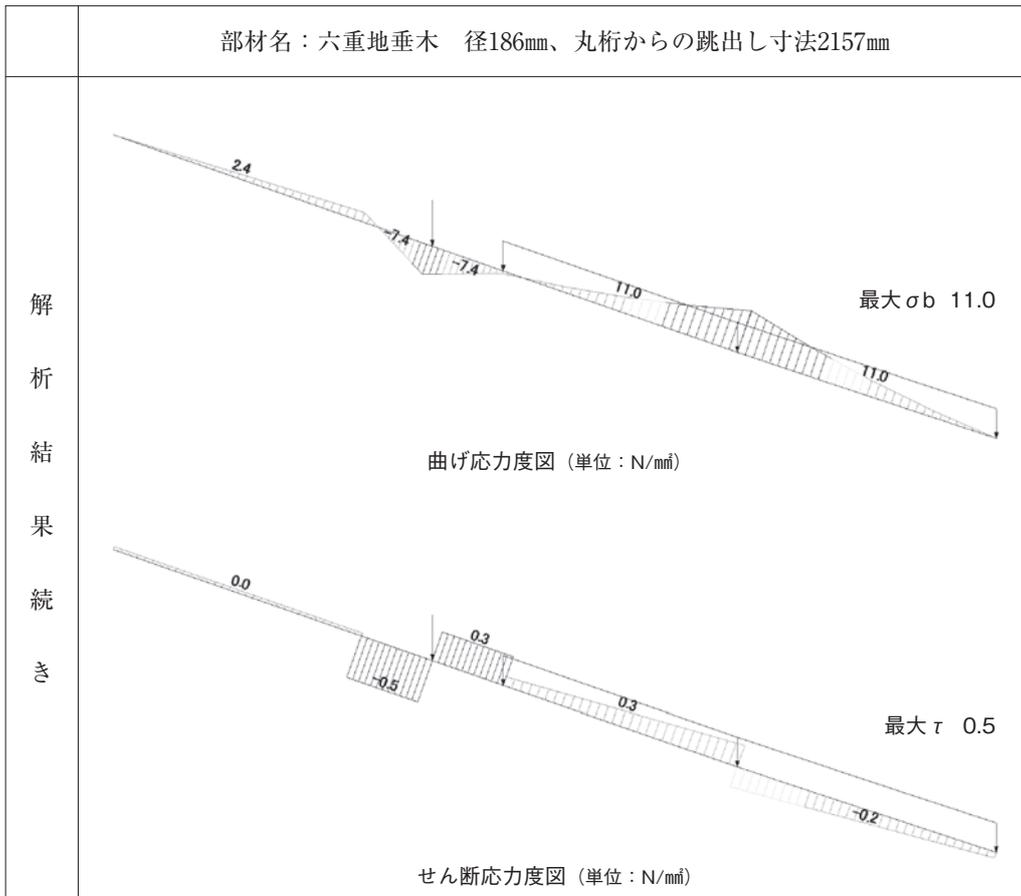


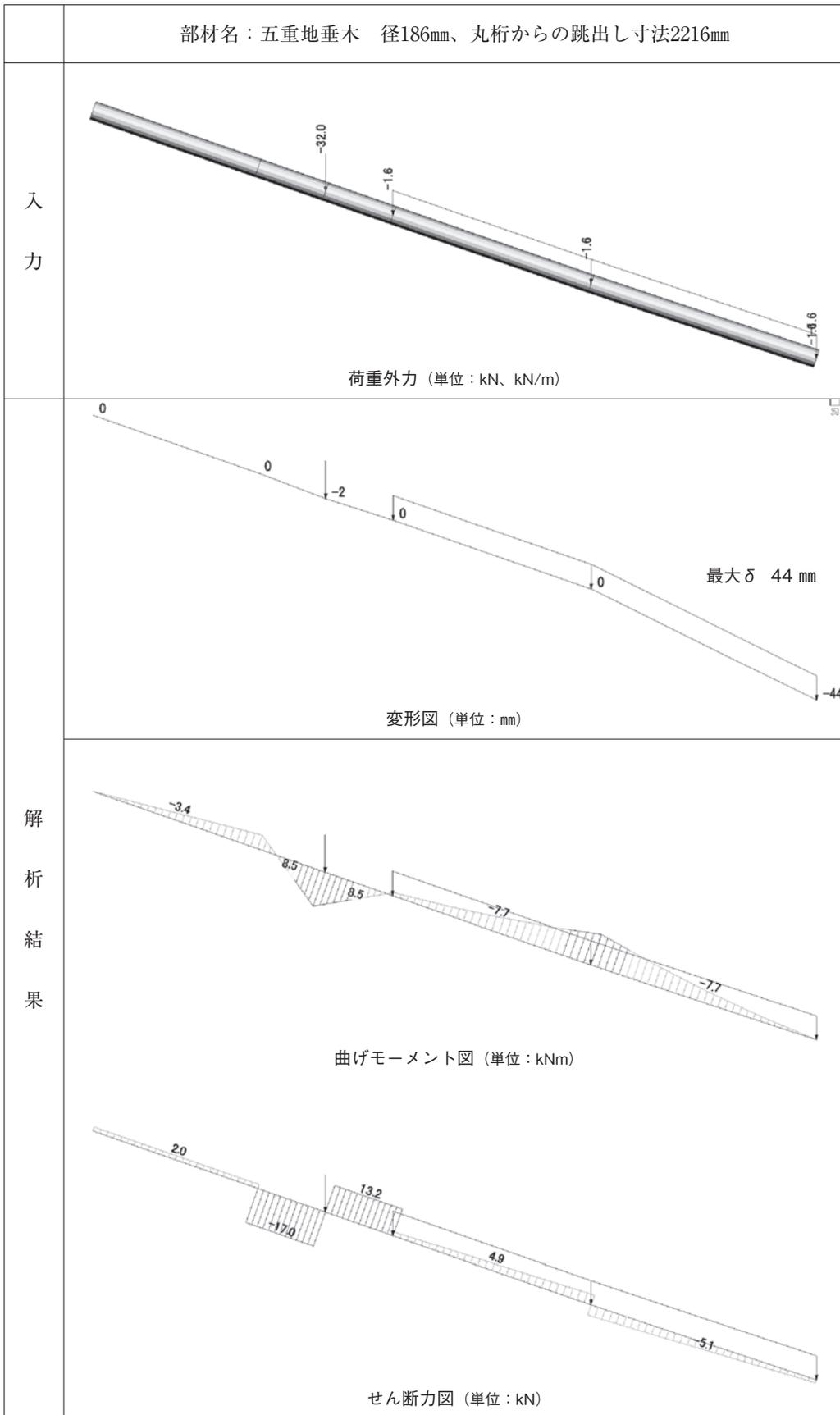
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

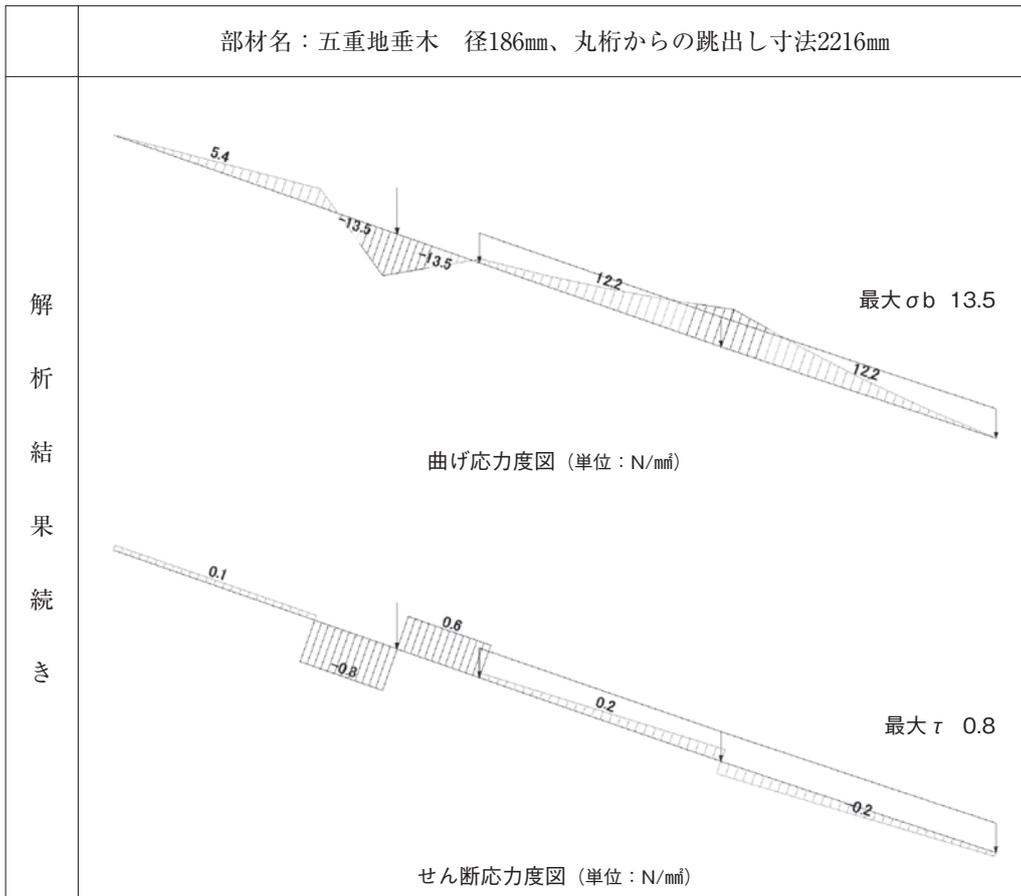


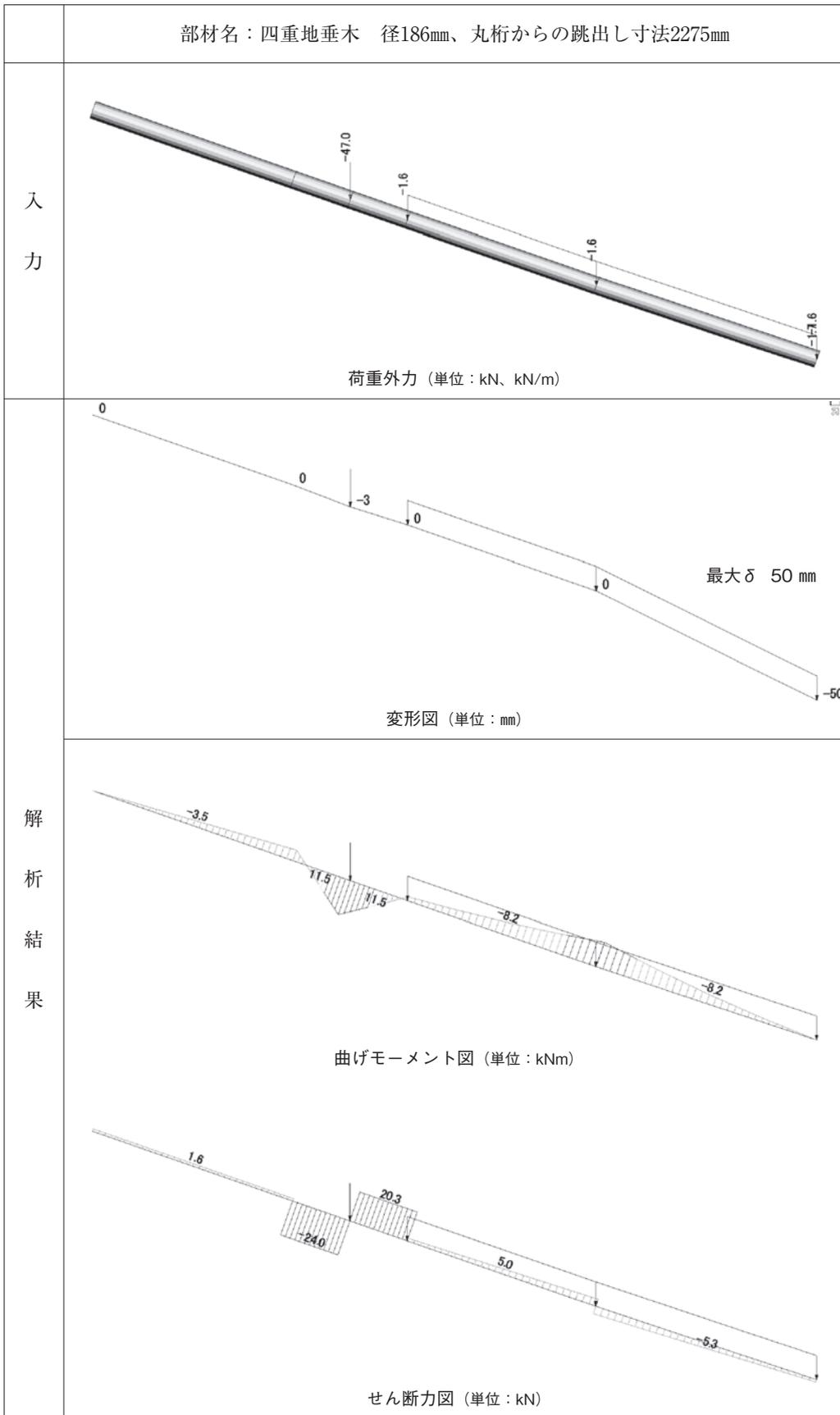


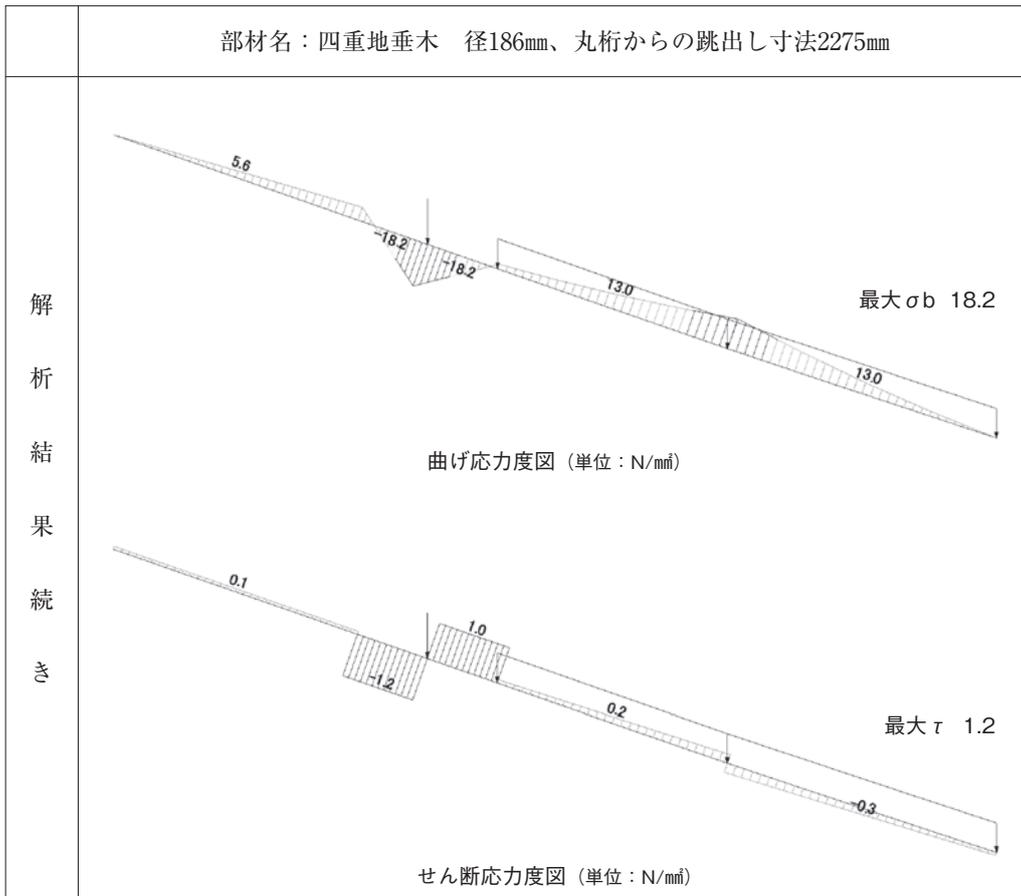


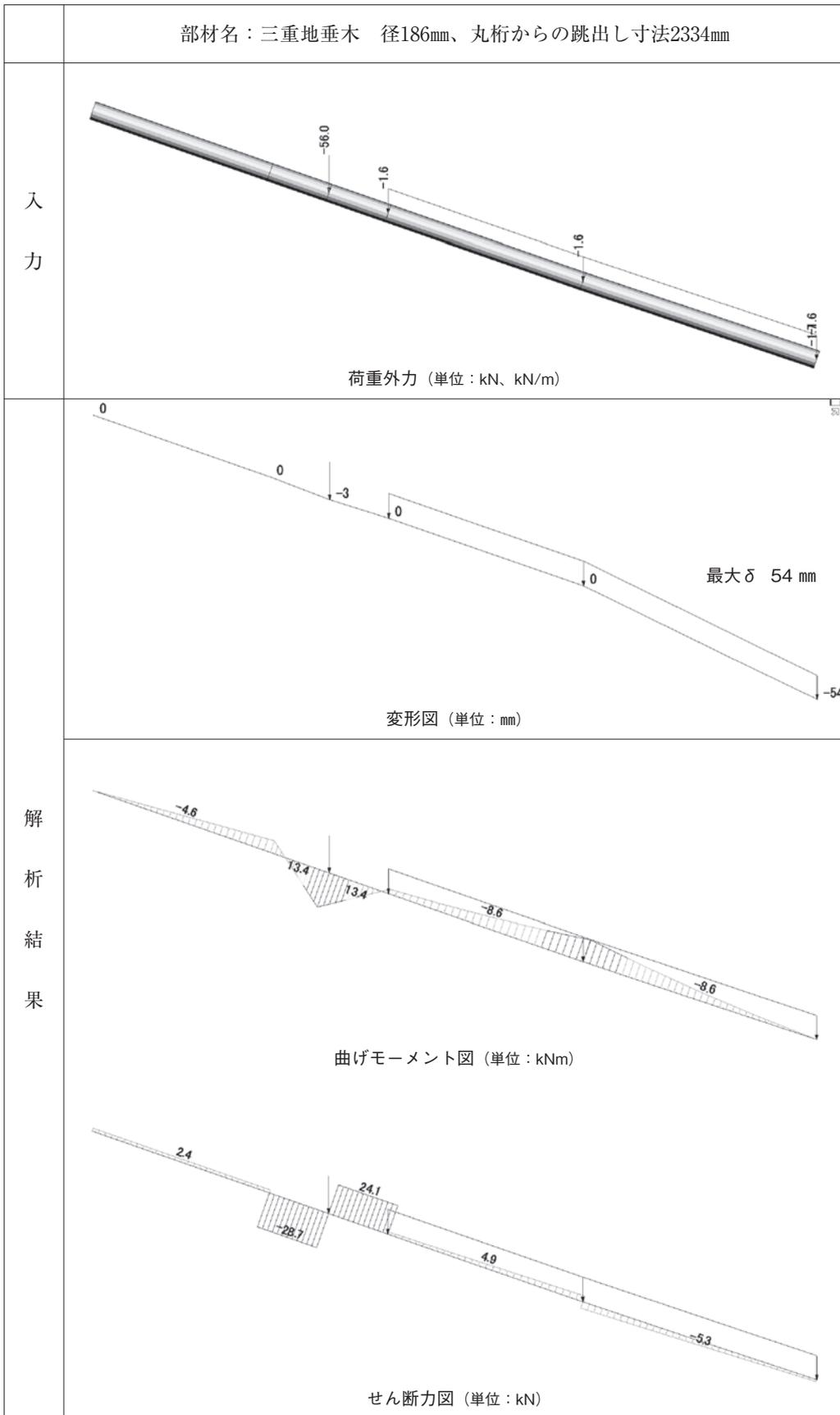


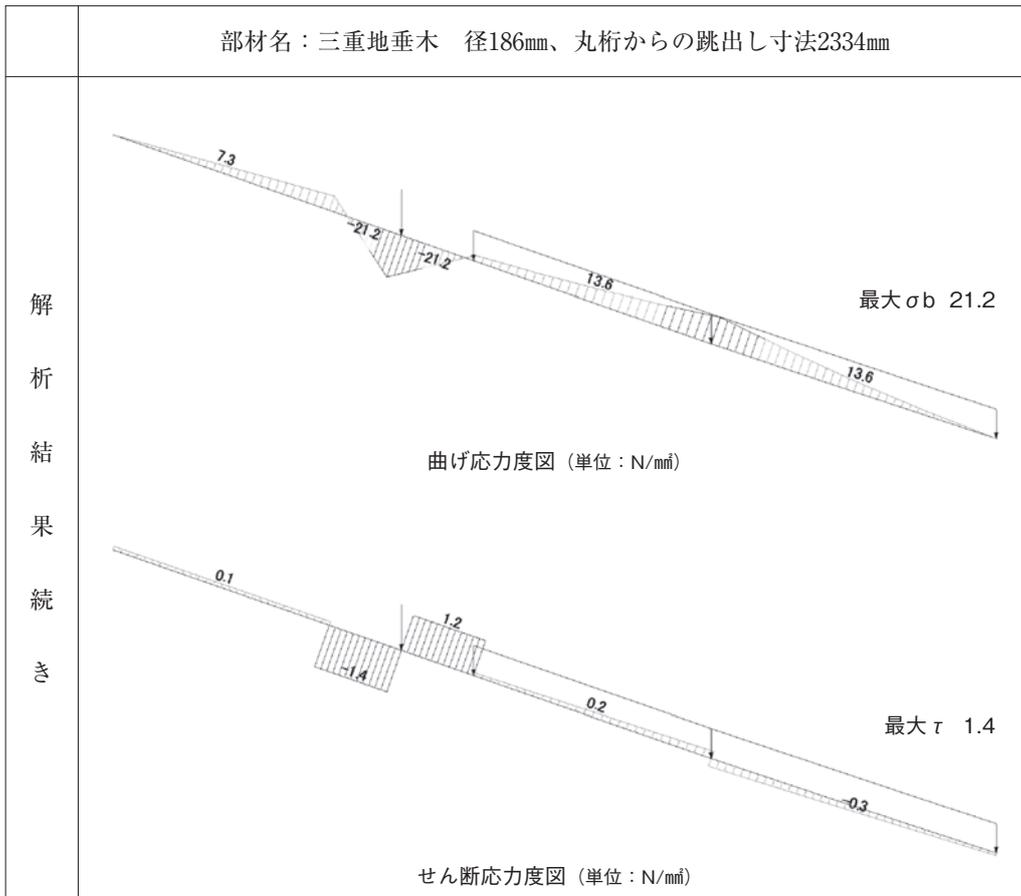


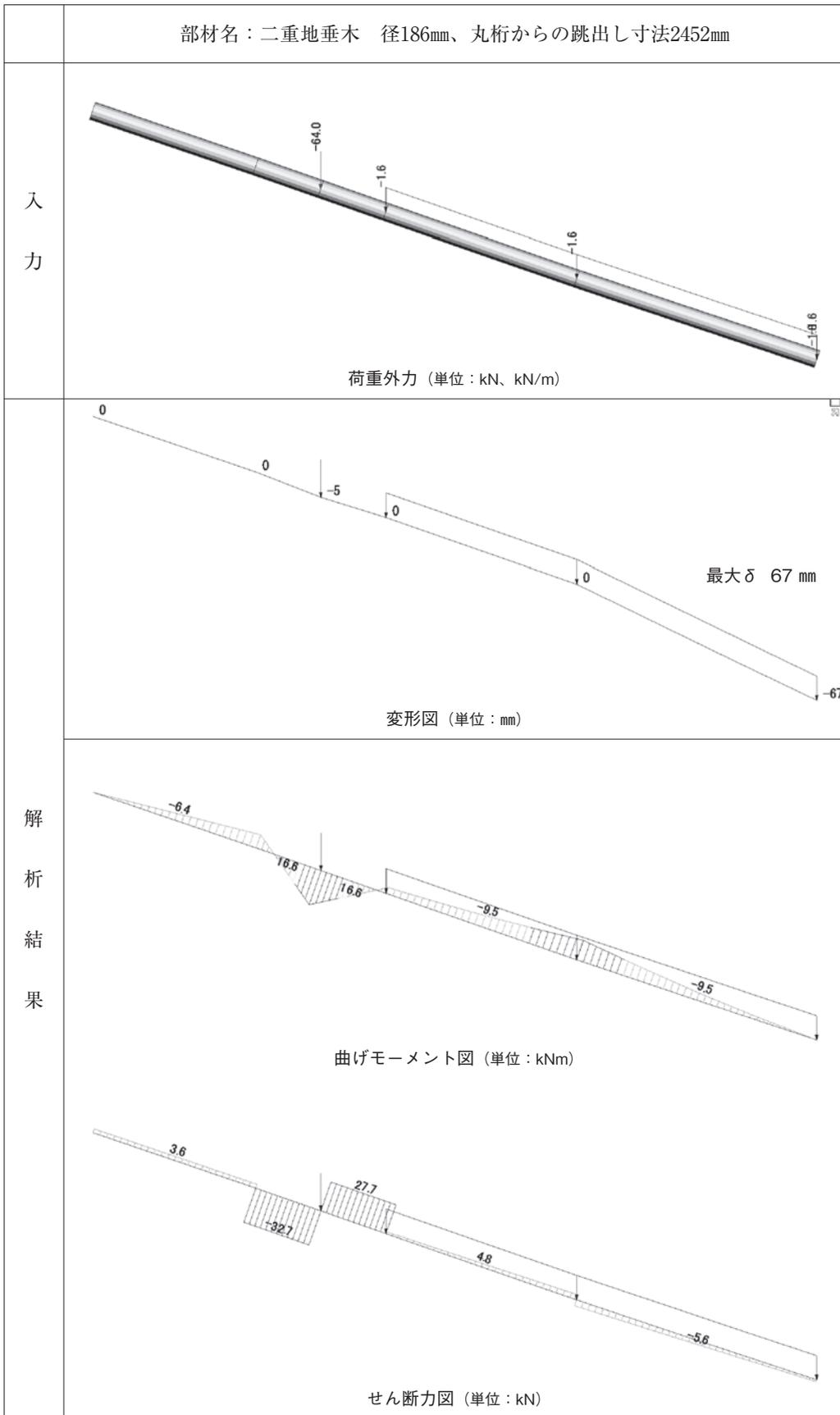


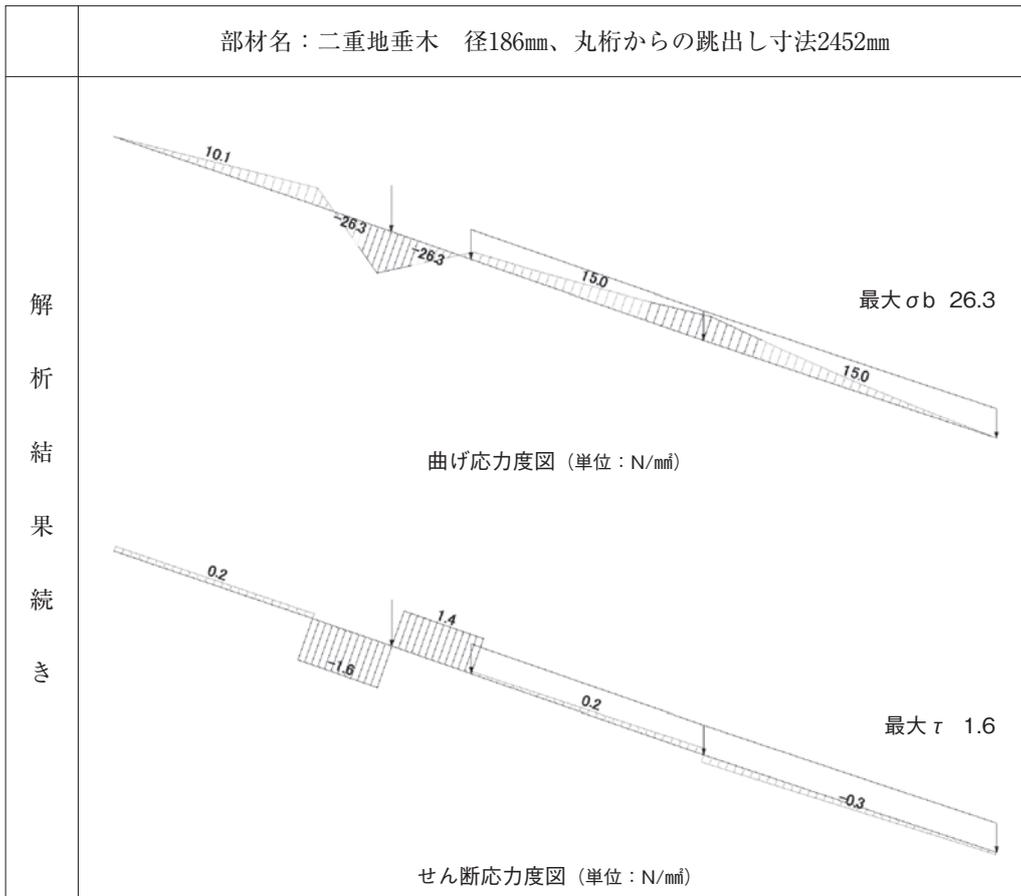


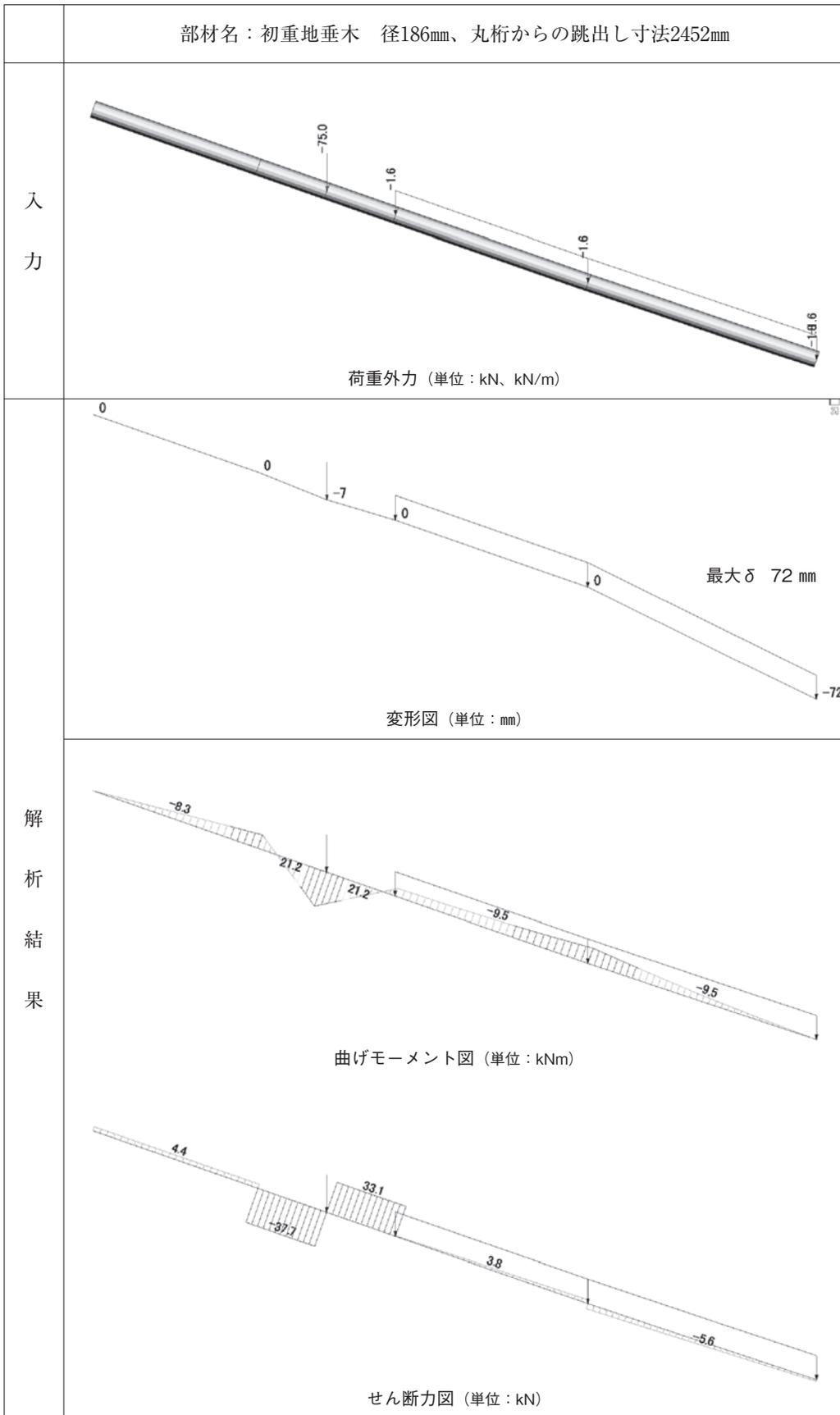


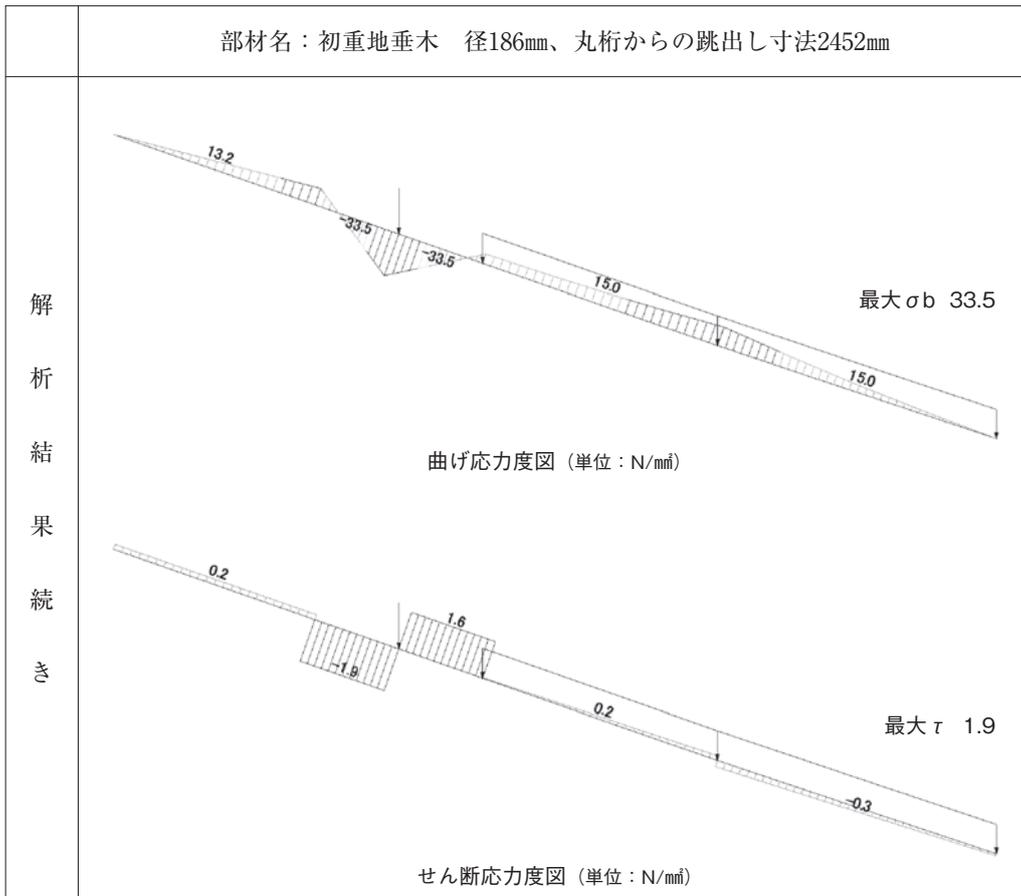




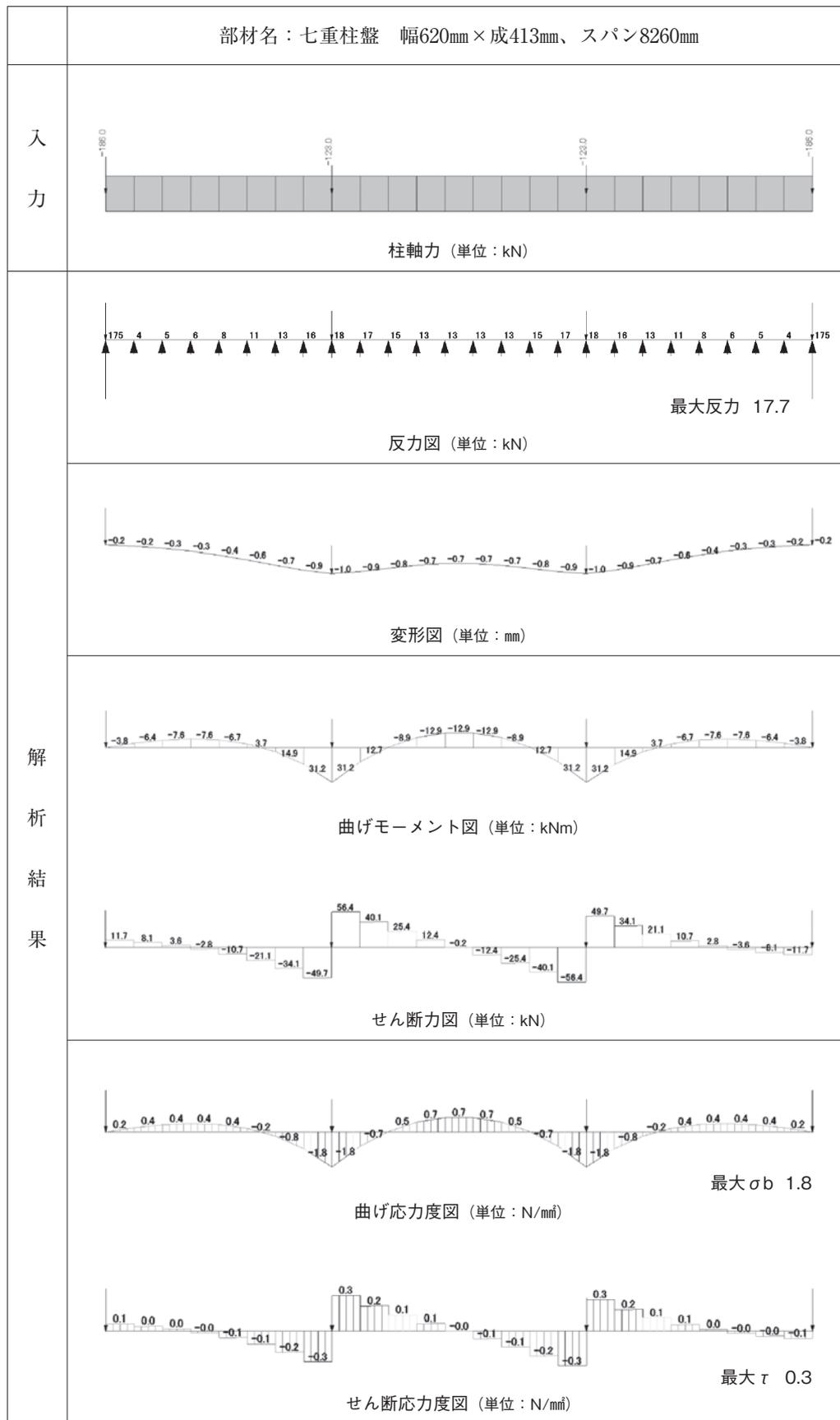


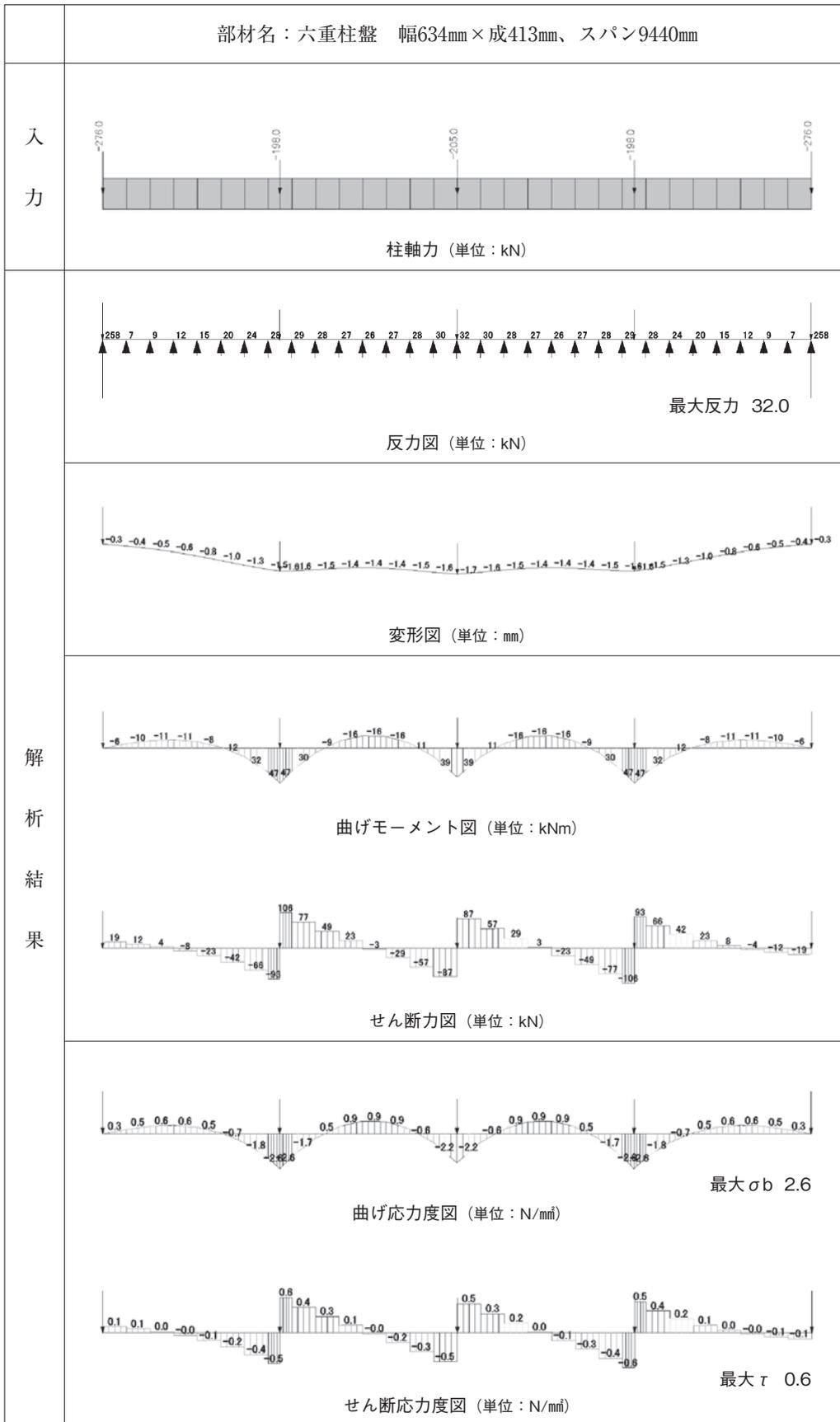


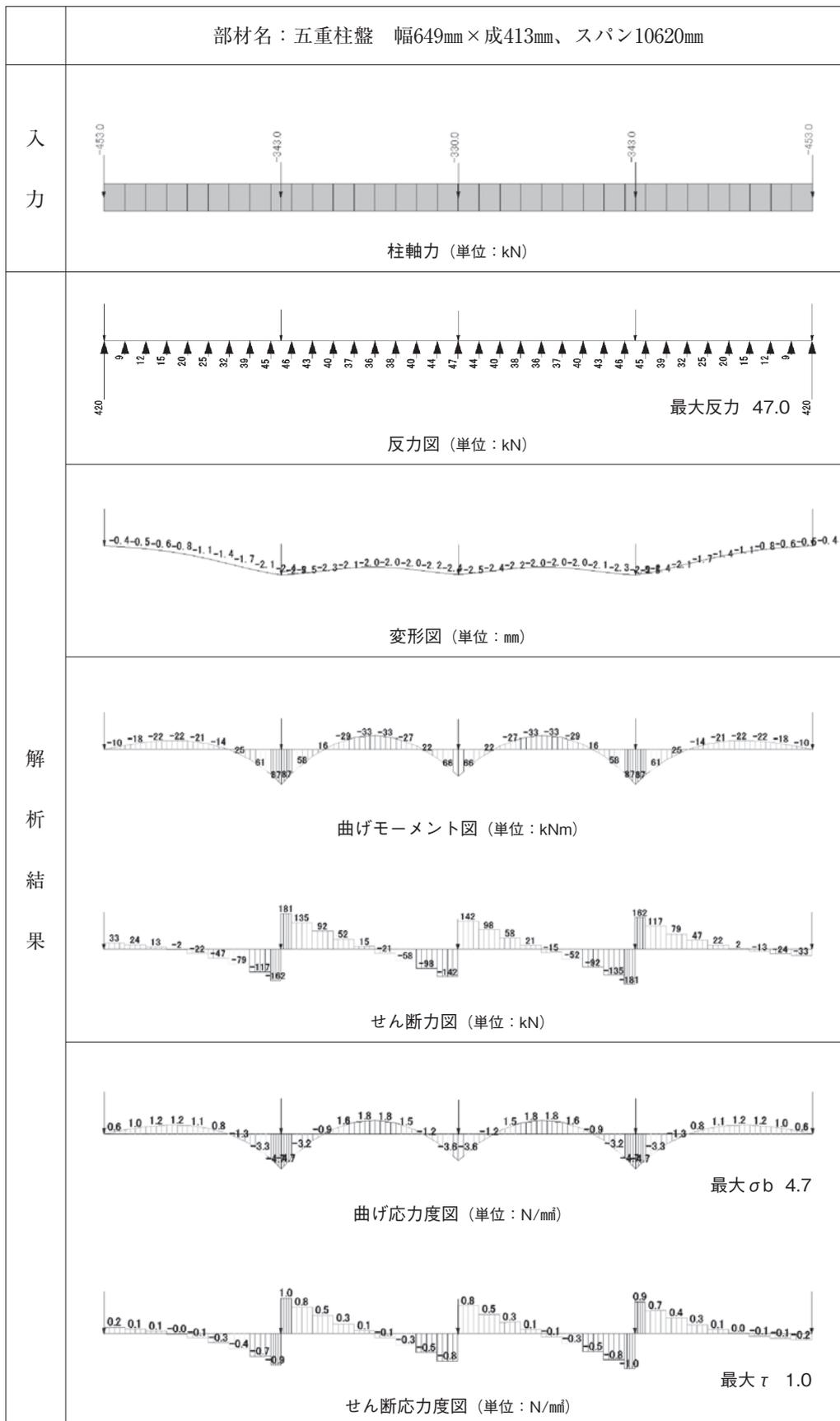


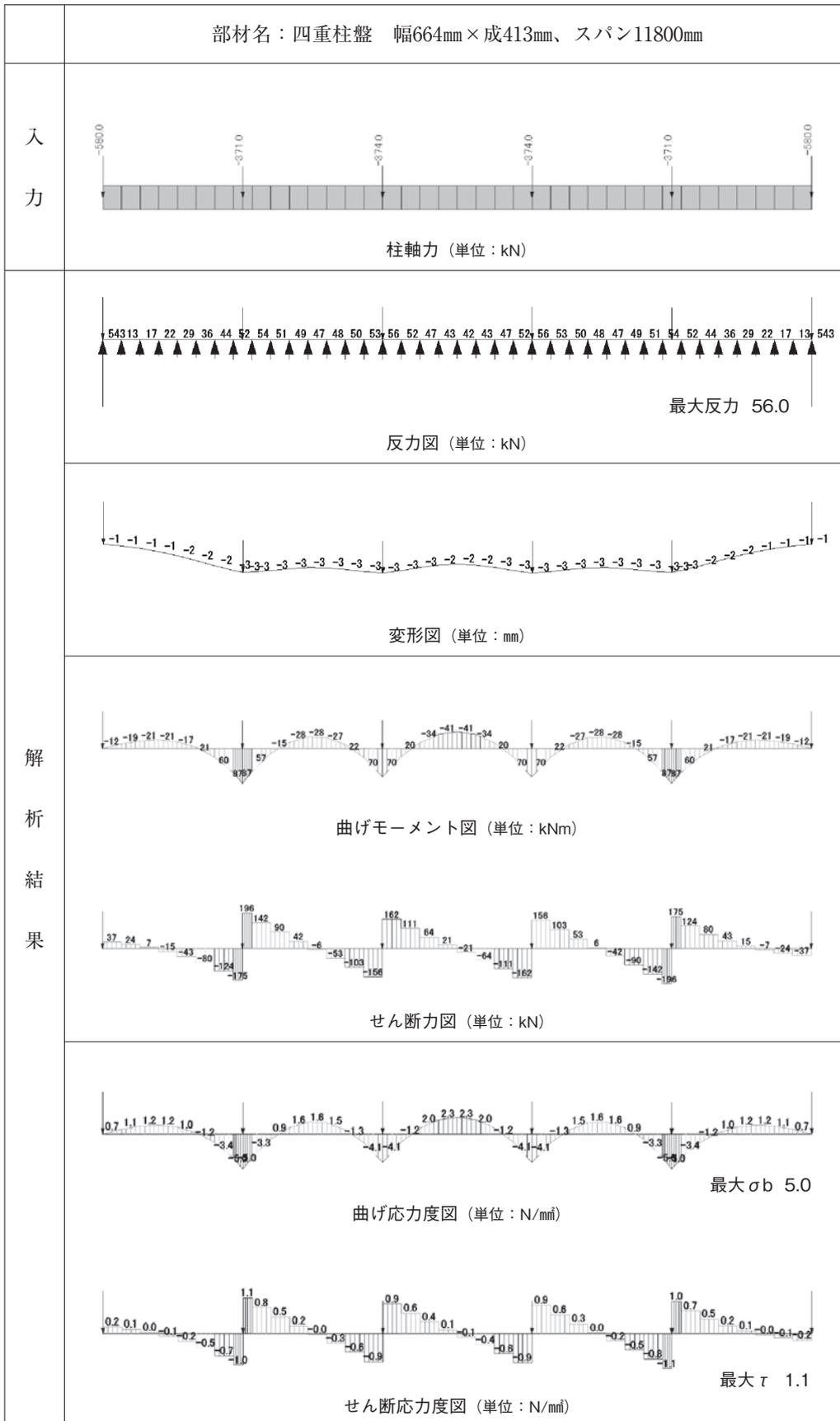


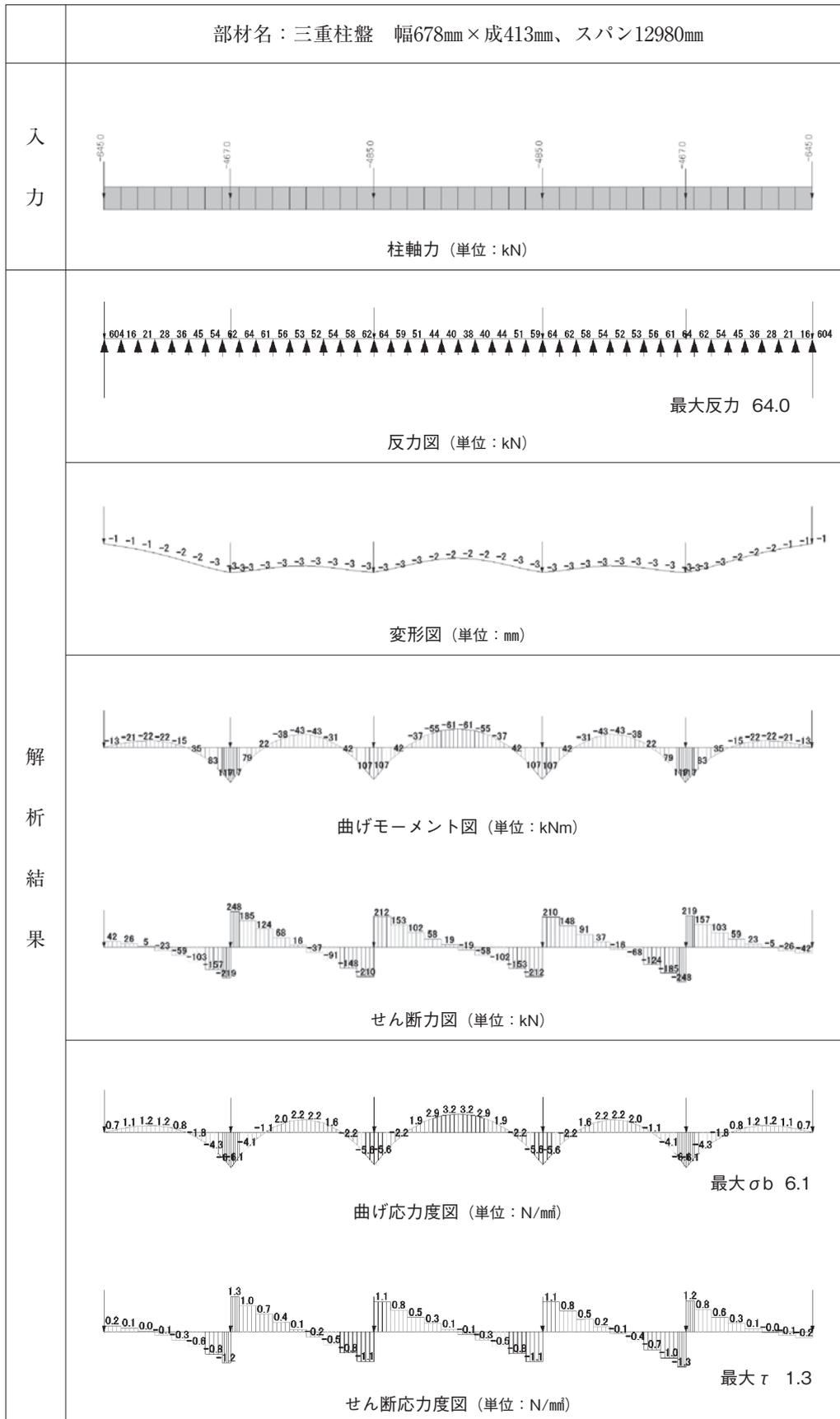
添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

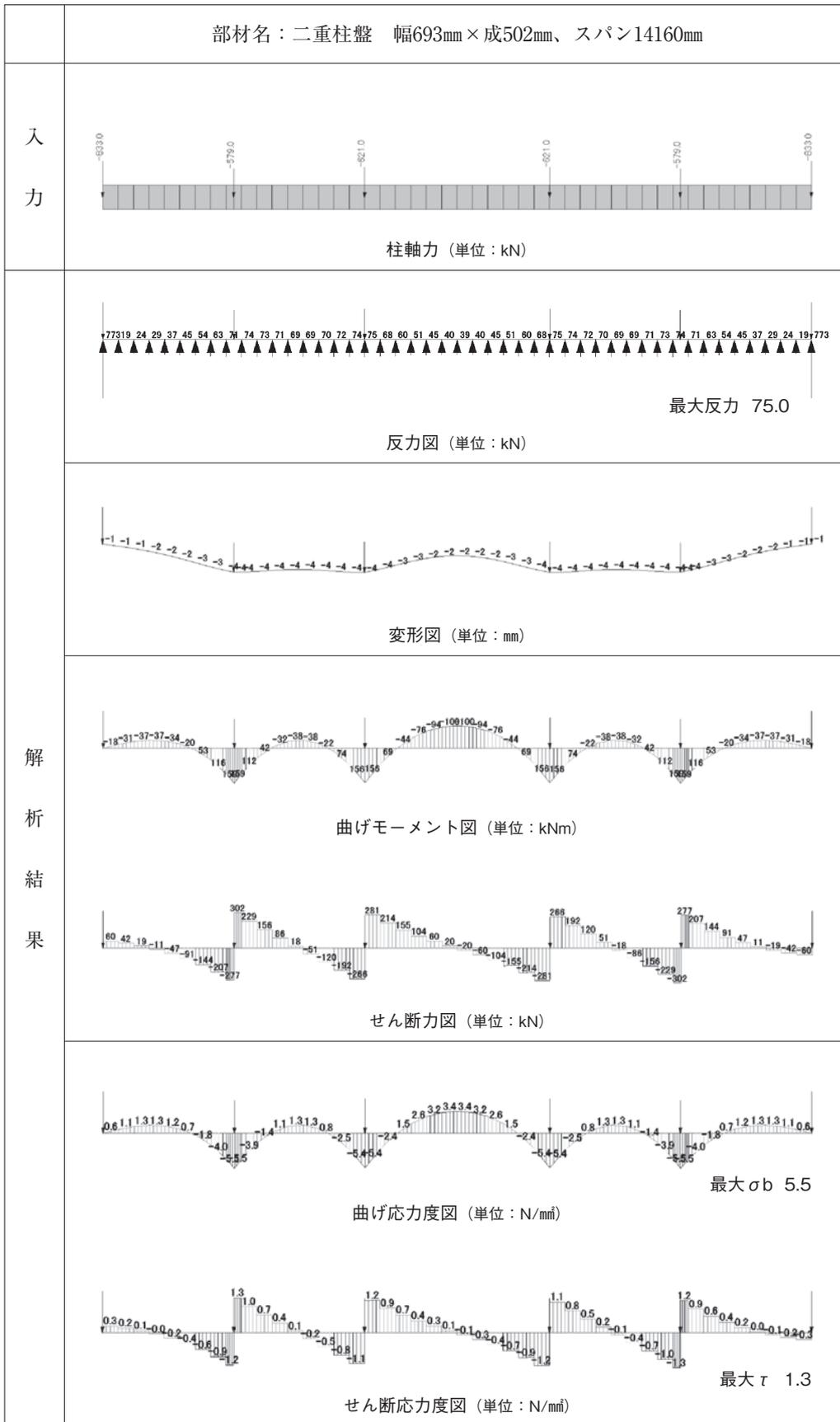




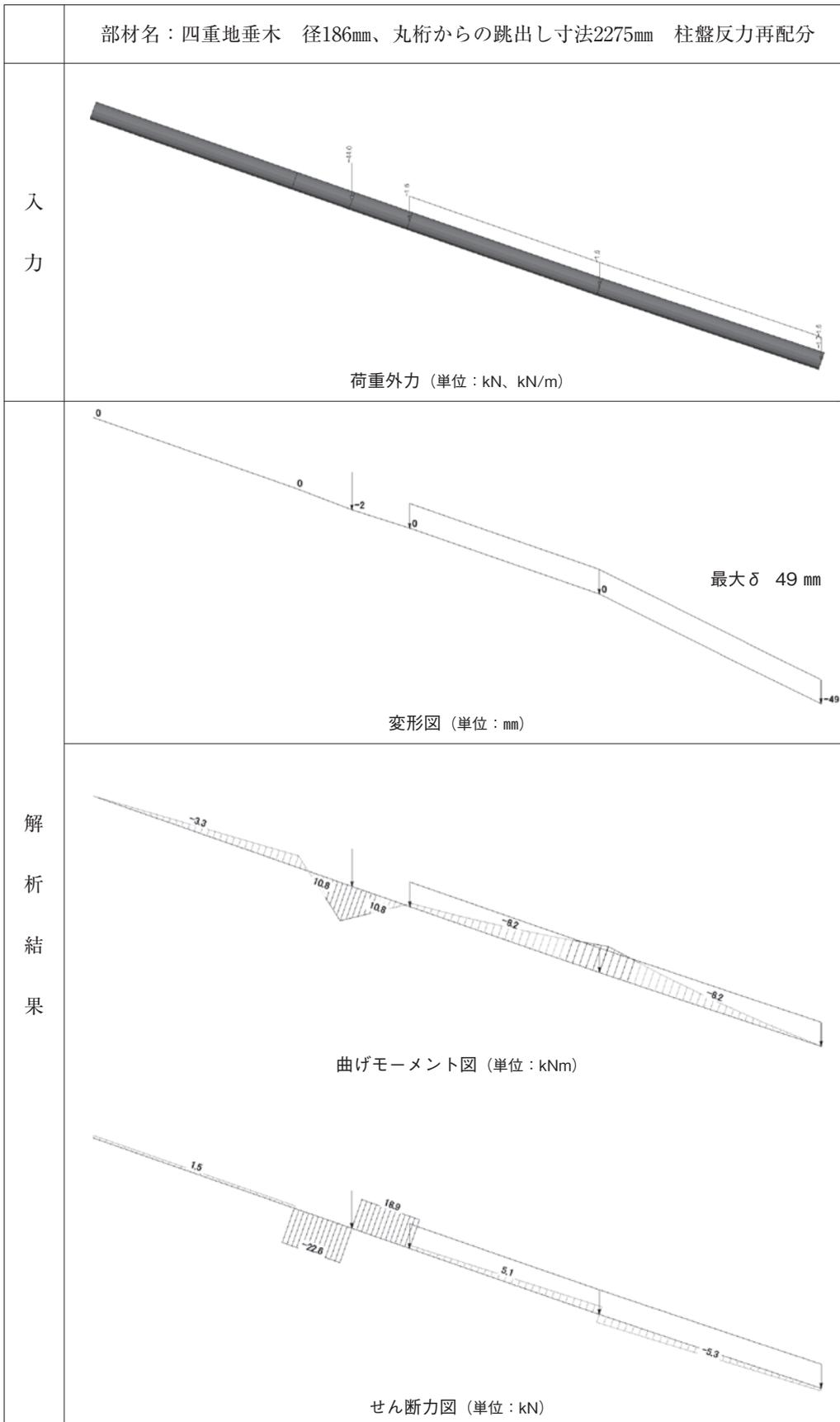


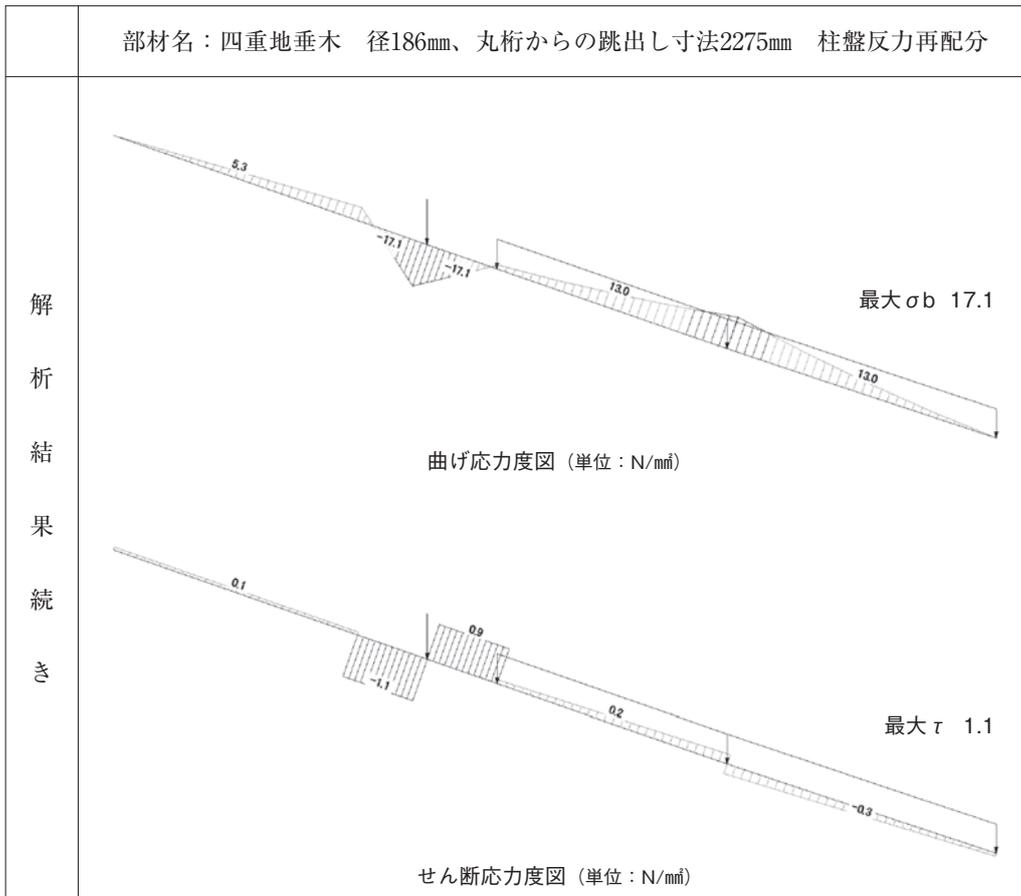


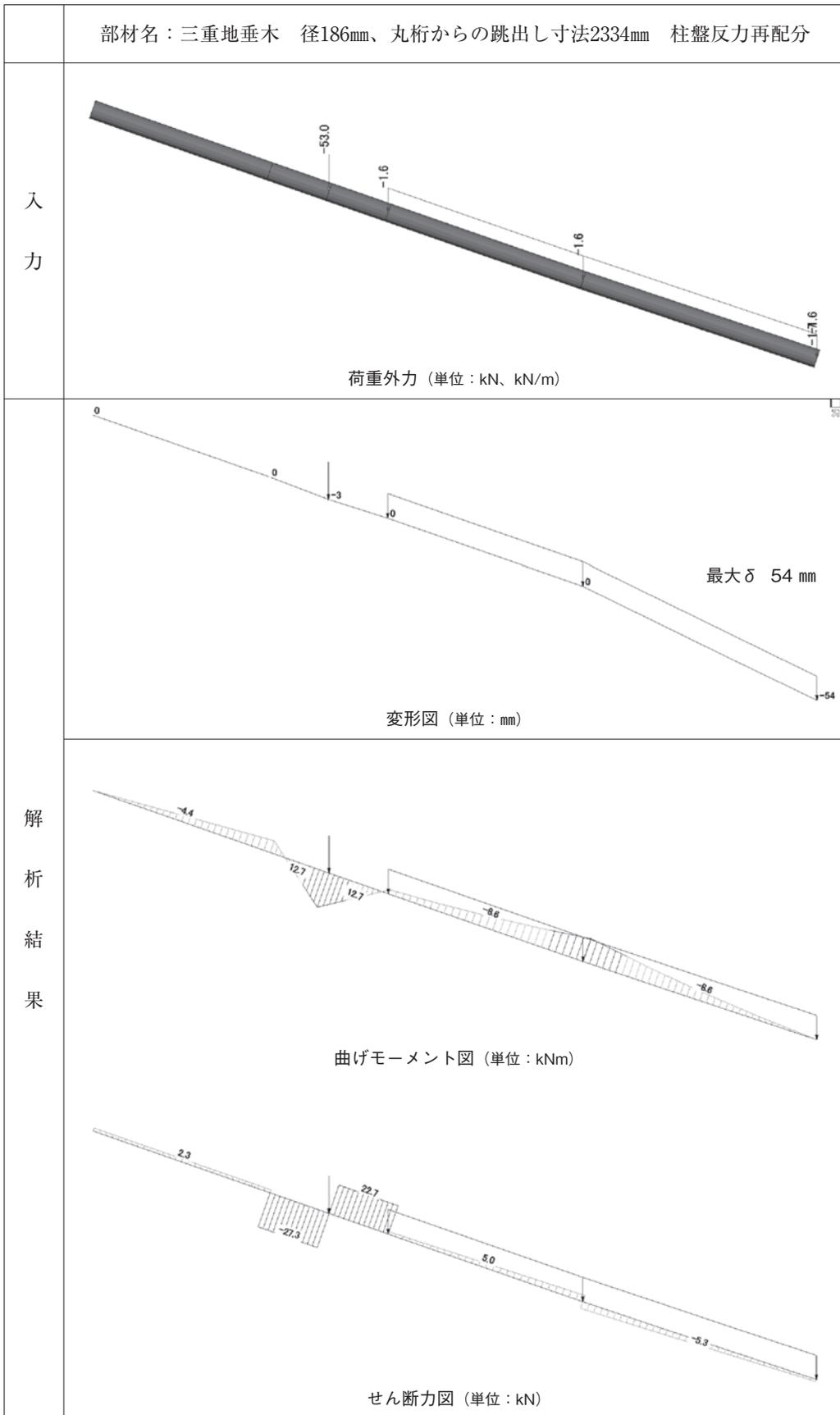


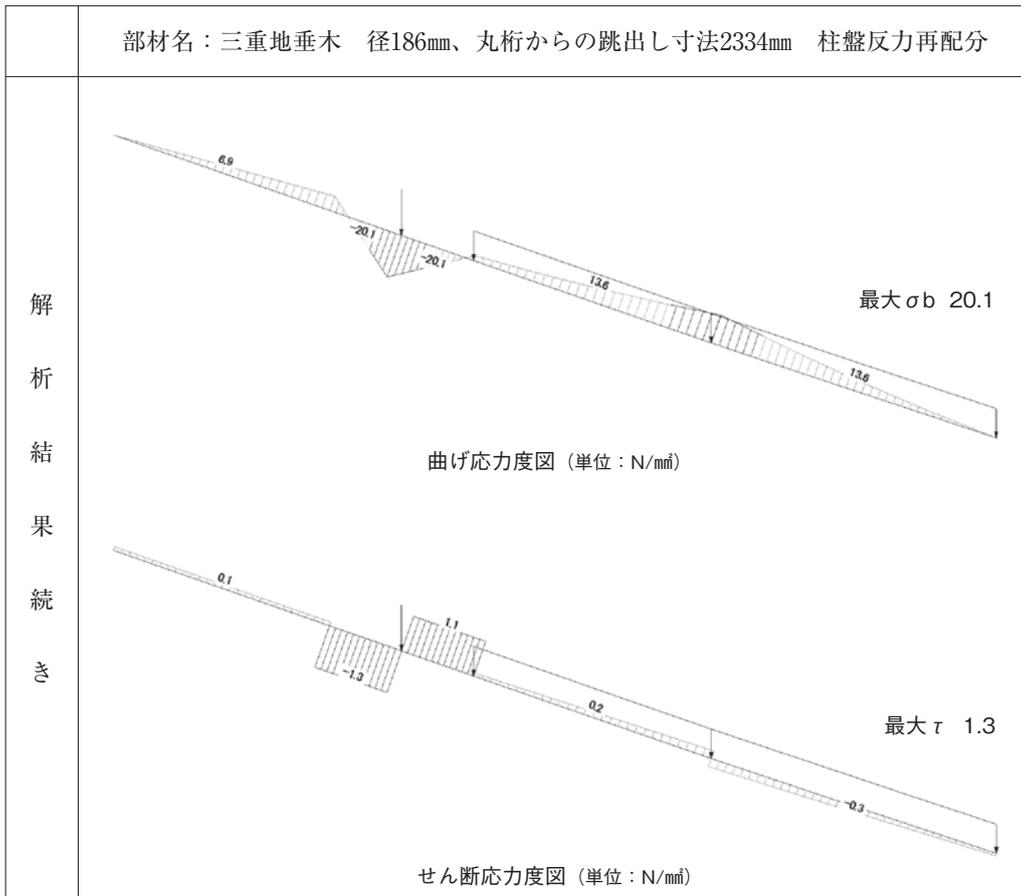


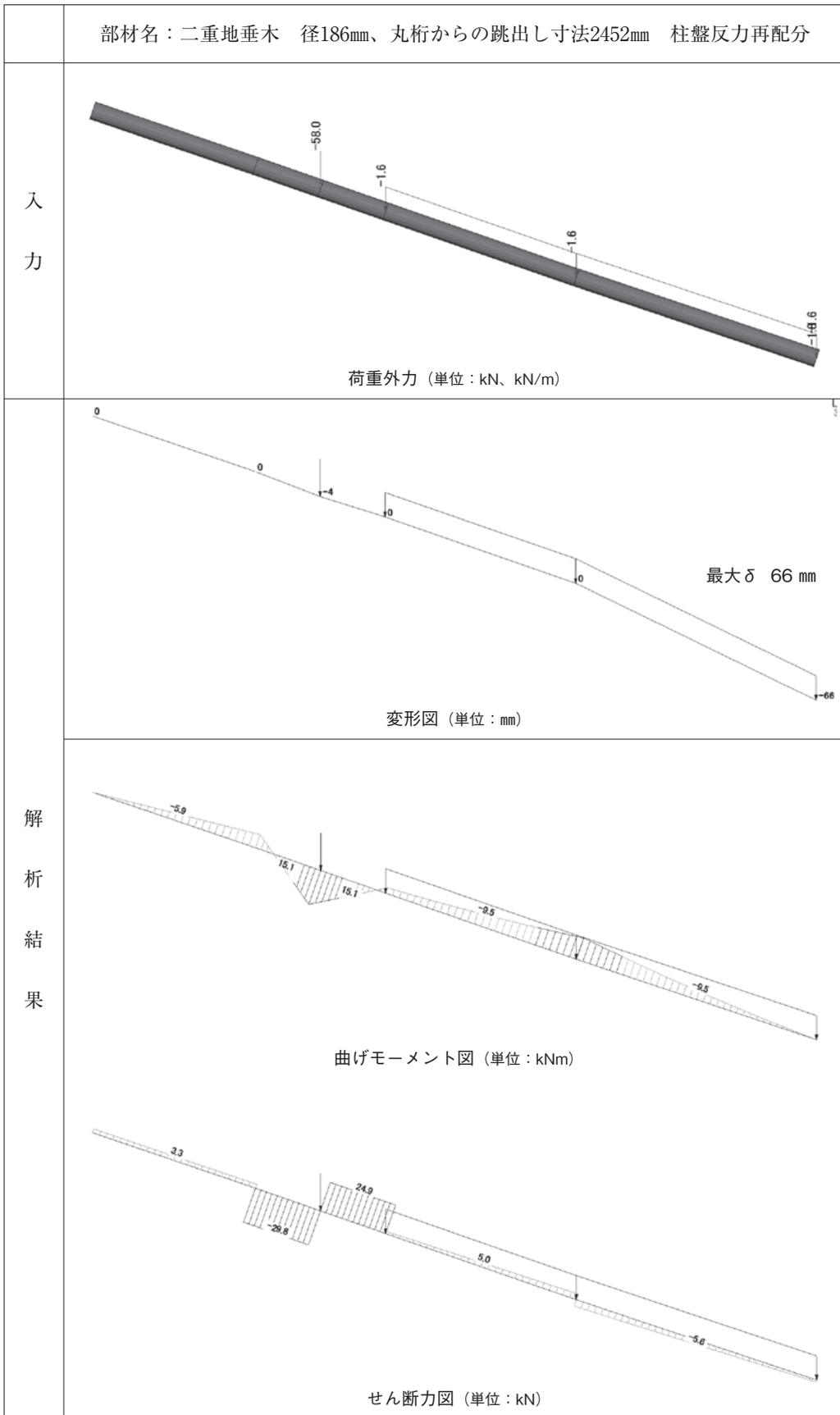
添付資料3 FEM解析による地垂木の応力-変形 柱盤反力再配分

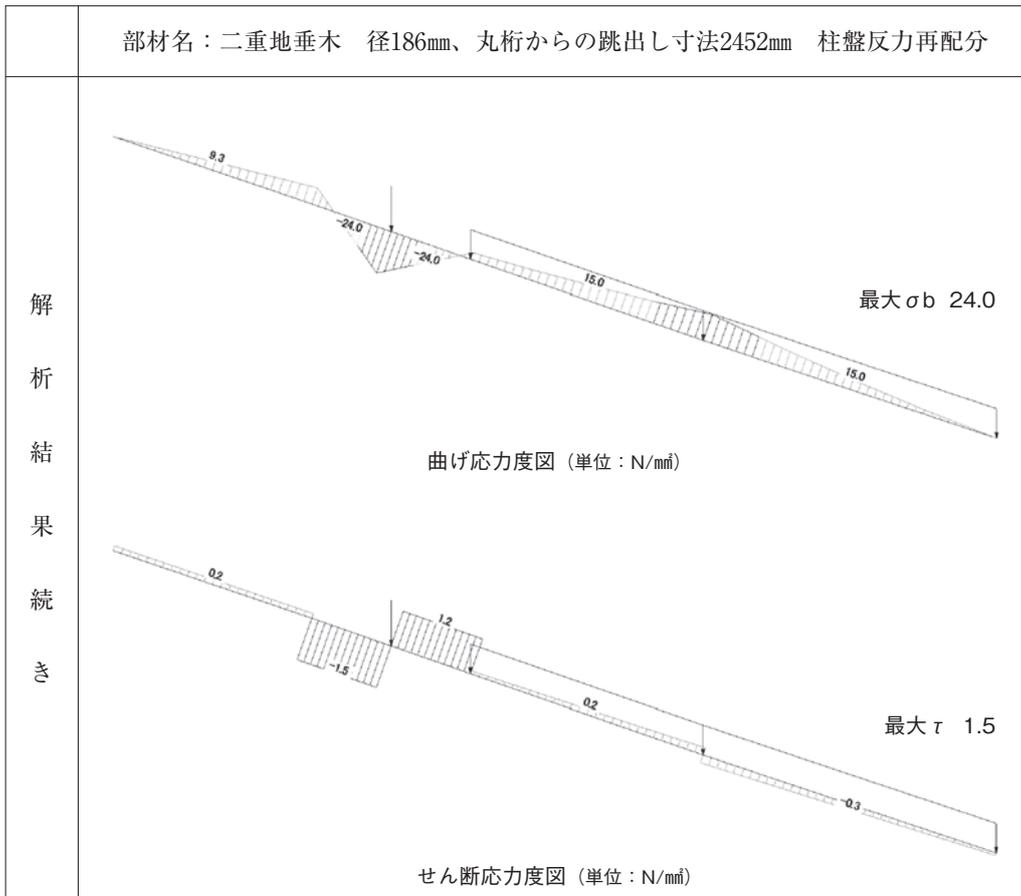


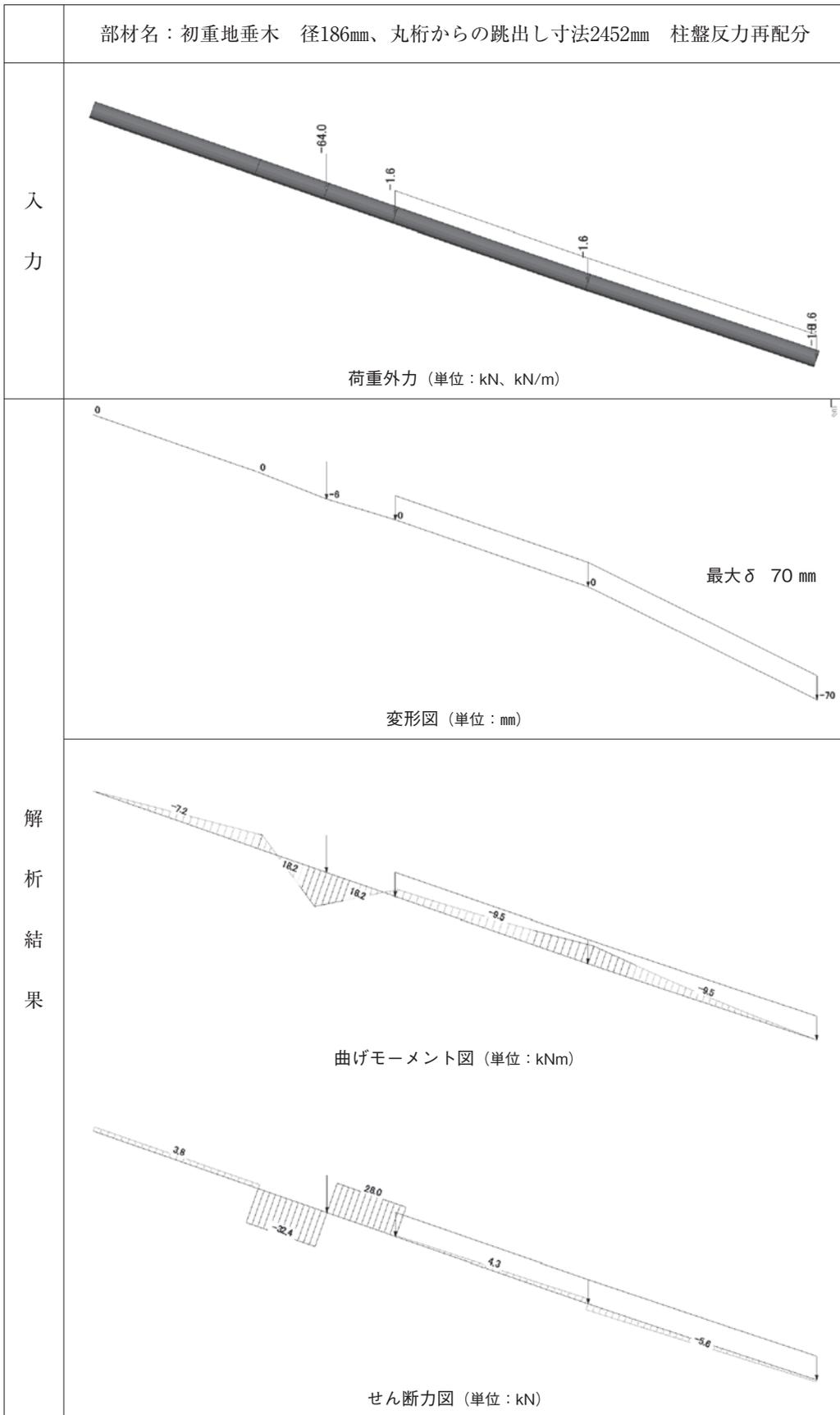


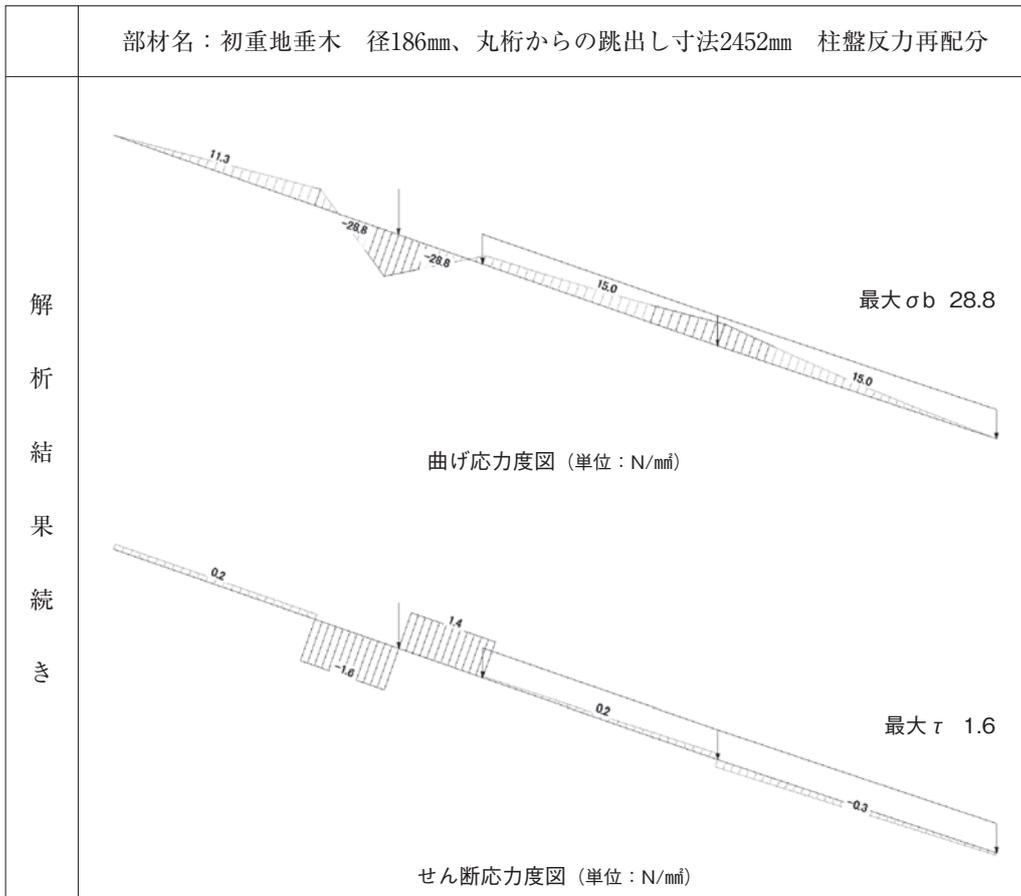




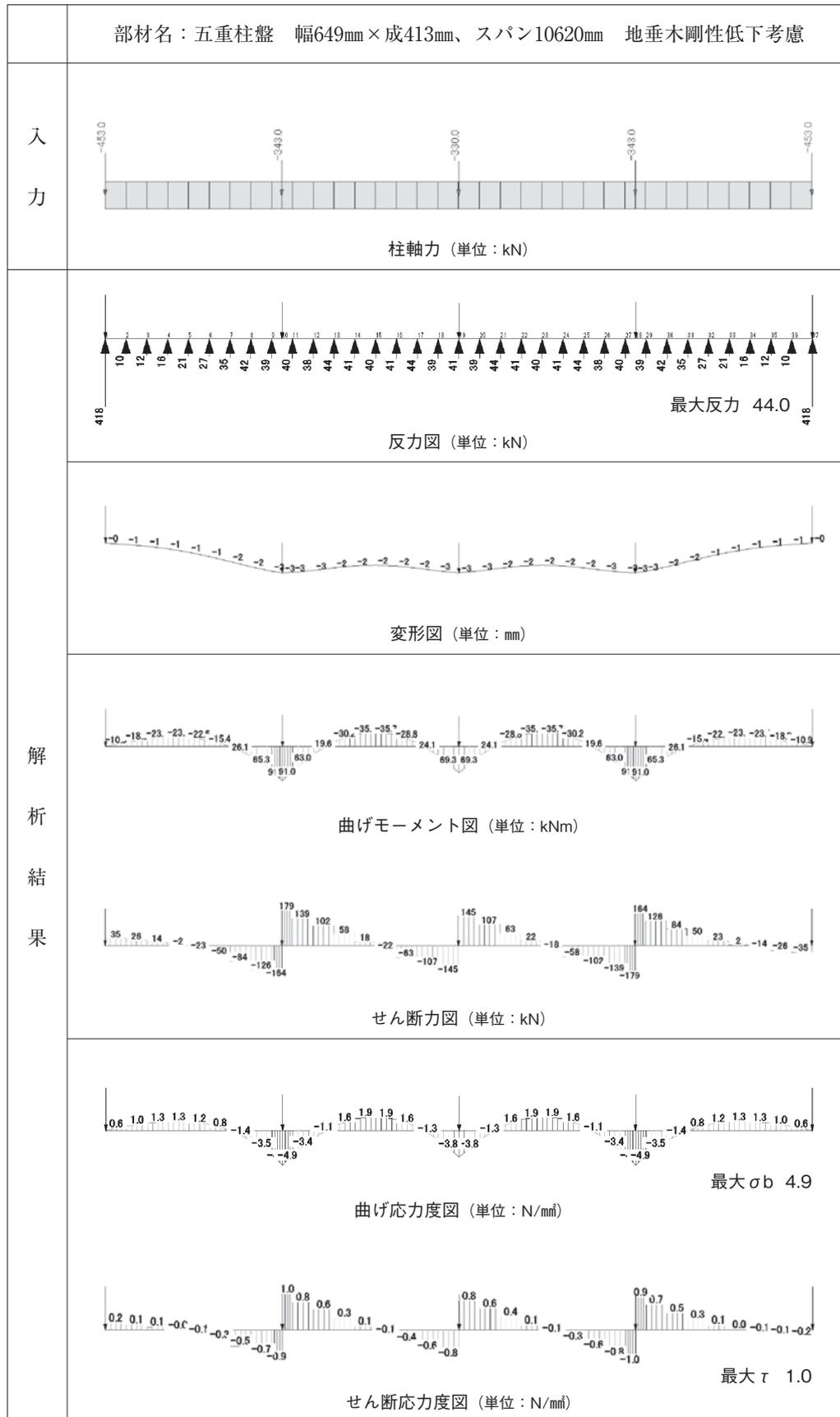


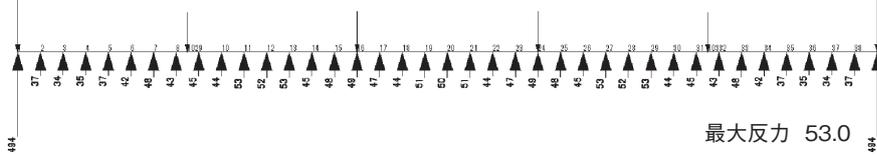
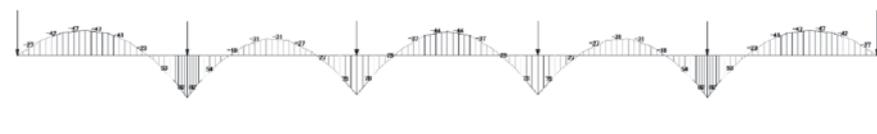
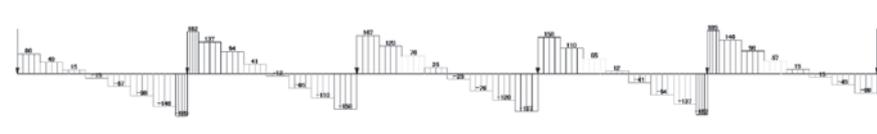
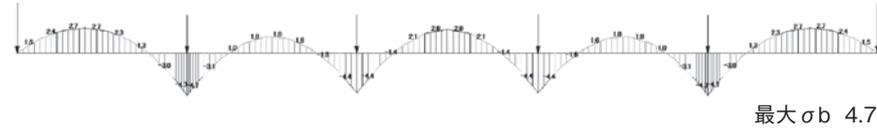
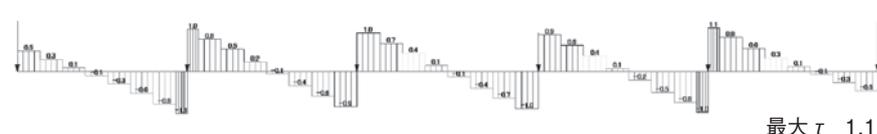


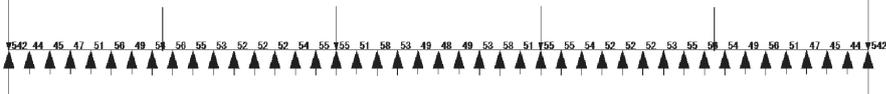
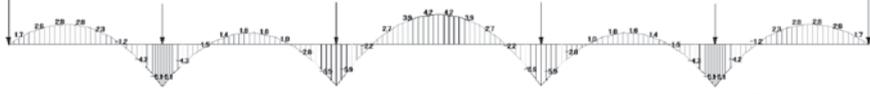
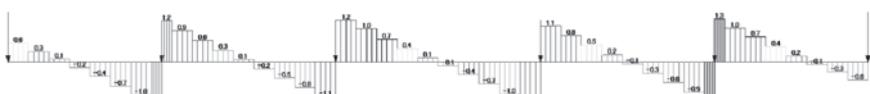


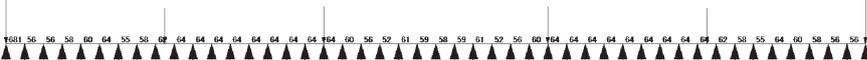


添付資料4 FEM解析による柱盤の応力-変形 地垂木剛性低下考慮



	<p>部材名：四重柱盤 幅664mm×成413mm、スパン11800mm 地垂木剛性低下考慮</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>最大反力 53.0</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>
	 <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大<math>\sigma_b</math> 4.7</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>
	 <p>最大<math>\tau</math> 1.1</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>

	<p>部材名：三重柱盤 幅678mm×成413mm、スパン12980mm 地垂木剛性低下考慮</p>
<p>入 力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
<p>解 析 結 果</p>	 <p>最大反力 58.0</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>
	 <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大σb 6.1</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm²)</p>  <p>最大τ 1.3</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm²)</p>

	<p>部材名：二重柱盤 幅693mm×成502mm、スパン14160mm 地垂木剛性低下考慮</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>最大反力 64.0</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>
	 <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大<math>\sigma_b</math> 5.9</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>
	 <p>最大<math>\tau</math> 1.4</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>



# 興福寺五重塔

## 1 軸部の検討

1-1 柱の圧縮に関する検討

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

1-3 台輪のめり込みに関する検討

## 2 組物の検討

2-1 大斗のめり込みに関する検討

2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

## 3 軒の検討

3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

## 4 応力図

4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

## 1 軸部の検討

### 1-1 柱の圧縮に関する検討

#### 1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。  
すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱			四天柱		
	柱径 (mm)	樹種 <sup>*1</sup>	検定比	柱径 (mm)	樹種 <sup>*1</sup>	検定比
五重	621	ヒノキ	0.08	356	ケヤキ	0.15
四重	621	ヒノキ	0.16	418	ヒノキ <sup>*2</sup>	0.24
三重	636	ヒノキ	0.24	540	ヒノキ	0.22
二重	636	ケヤキ	0.31	591	ヒノキ	0.26
初重	655	ケヤキ	0.39	655	ケヤキ	0.20

\*1：柱の樹種を示す。 \*2：樹種不明のため、ヒノキと仮定。

#### 2) 共通事項

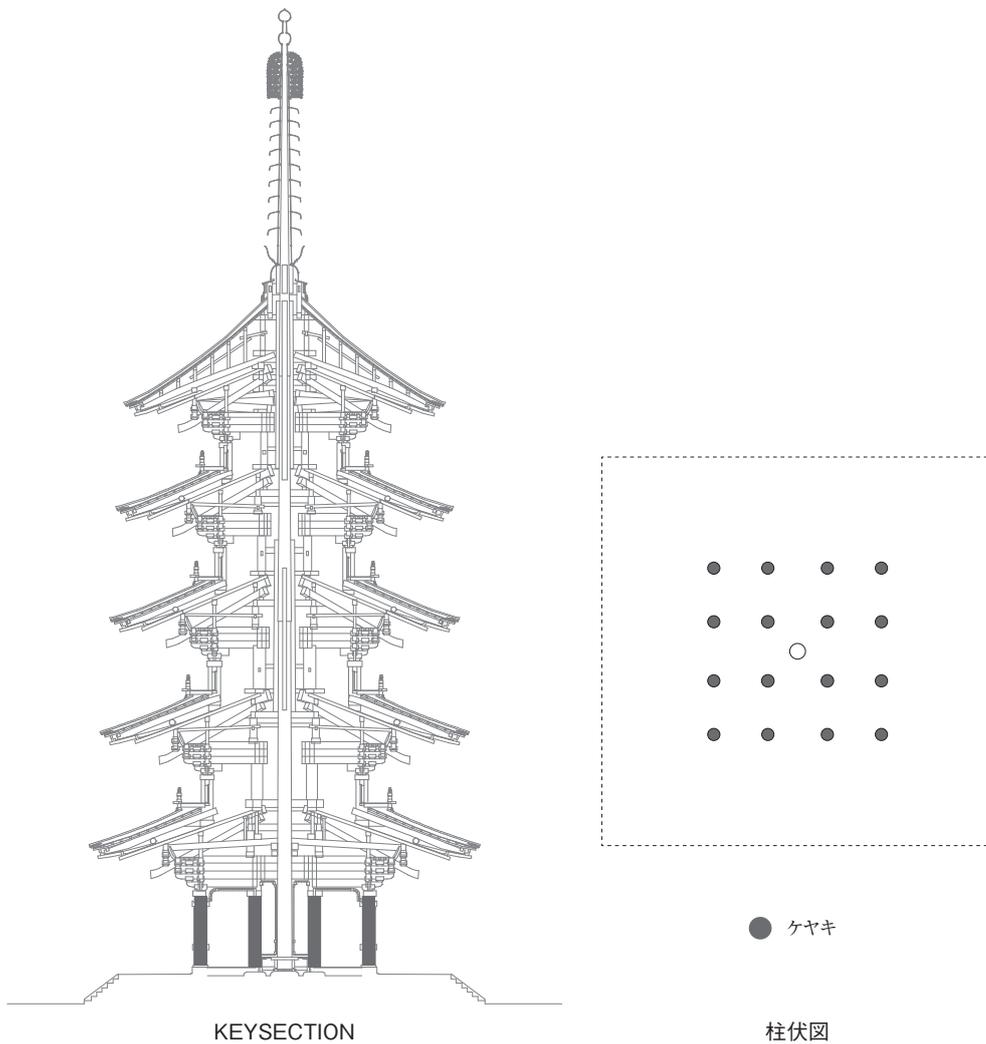
興福寺五重塔に使用されている木材の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。圧縮およびめり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキの圧縮基準強度  $F_c$  20.7 N/mm<sup>2</sup>（告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値）
- ・ケヤキの圧縮基準強度  $F_c$  21.0 N/mm<sup>2</sup>（同上）
- ・長期に生じる力に対する圧縮許容応力度  $1.1 \times F_c / 3$   
（建築基準法施行令第89条に示される数値）
- ・長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】 寸法  $\phi 655$  mm、樹種 ケヤキ、全断面積  $= 655^2 \pi / 4 = 336955 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 4059 mm、断面二次半径  $655/4 = 164$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $4059/164 = 24.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.7 \times 336955 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2595 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位: kN)

1023	649	649	1023
649	516	516	649
649	516	516	649
1023	649	649	1023

検定比一覧

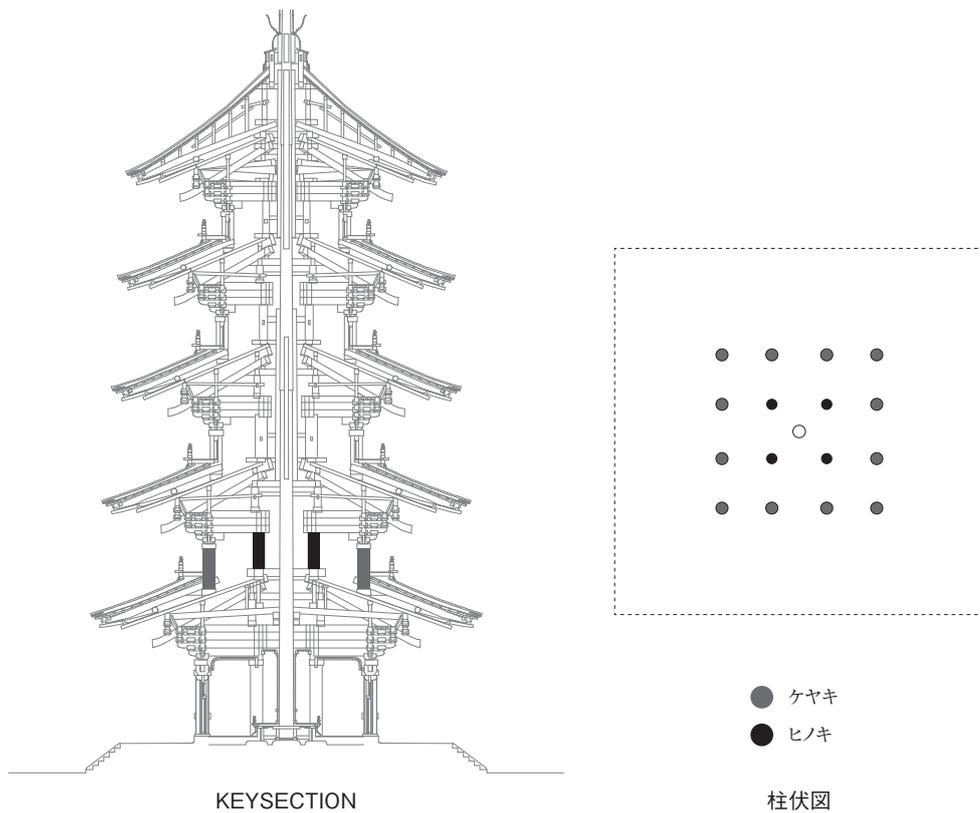
0.39	0.25	0.25	0.39
0.25	0.20	0.20	0.25
0.25	0.20	0.20	0.25
0.39	0.25	0.25	0.39

最大検定値

【二重柱】

側柱 寸法  $\phi 636$  mm、樹種 ケヤキ、全断面積 =  $636^2 \pi / 4 = 317690 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 2410 mm、断面二次半径  $636/4 = 159$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $2410/159 = 15.2$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.7 \times 317690 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2446 \text{ kN}$

四天柱 寸法  $\phi 591$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積 =  $591^2 \pi / 4 = 274325 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1737 mm、断面二次半径  $591/4 = 148$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1737/148 = 11.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 274325 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2082 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位：kN)

746	387	387	746
387	532	532	387
387	532	532	387
746	387	387	746

検定比一覧

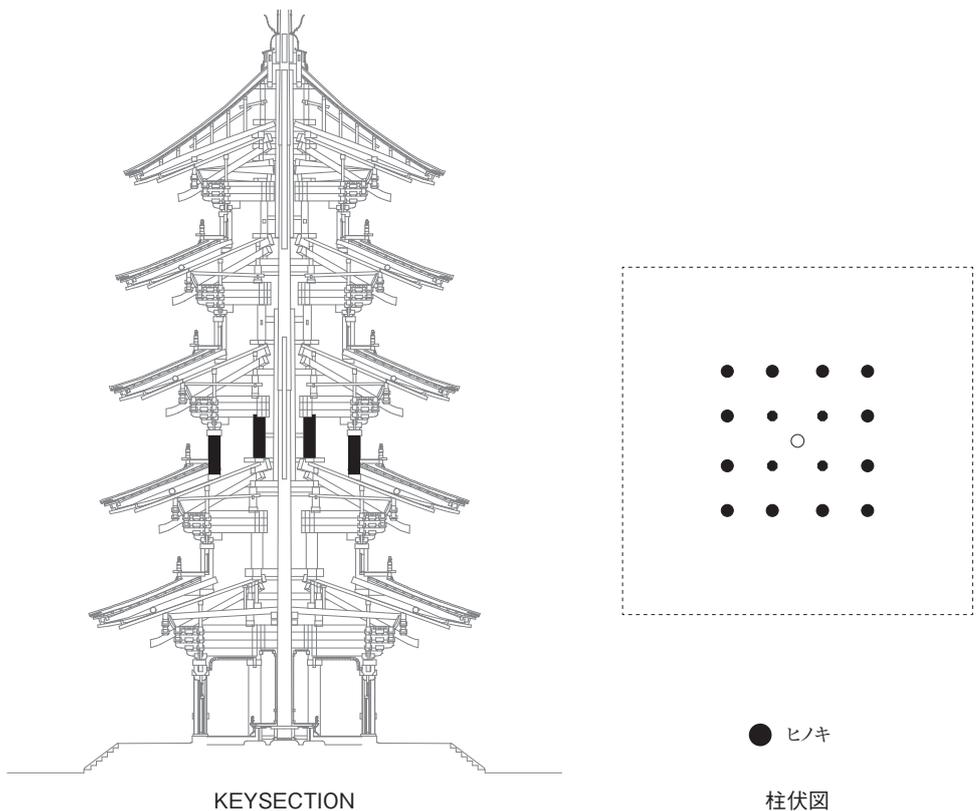
0.31	0.16	0.16	0.31
0.16	0.26	0.26	0.16
0.16	0.26	0.26	0.16
0.31	0.16	0.16	0.31

最大検定値

【三重柱】

側柱 寸法  $\phi 636$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積 =  $636^2 \pi / 4 = 317690 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 2424 mm、断面二次半径  $636/4 = 159$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $2424/159 = 15.2$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 317690 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2411 \text{ kN}$

四天柱 寸法  $\phi 540$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積 =  $540^2 \pi / 4 = 229022 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 2424 mm、断面二次半径  $540/4 = 135$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $2424/135 = 18.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 229022 \times 1.0 \times 10^{-3} = 1738 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位 : kN)

579	266	266	579
266	380	380	266
266	380	380	266
579	266	266	579

検定比一覧

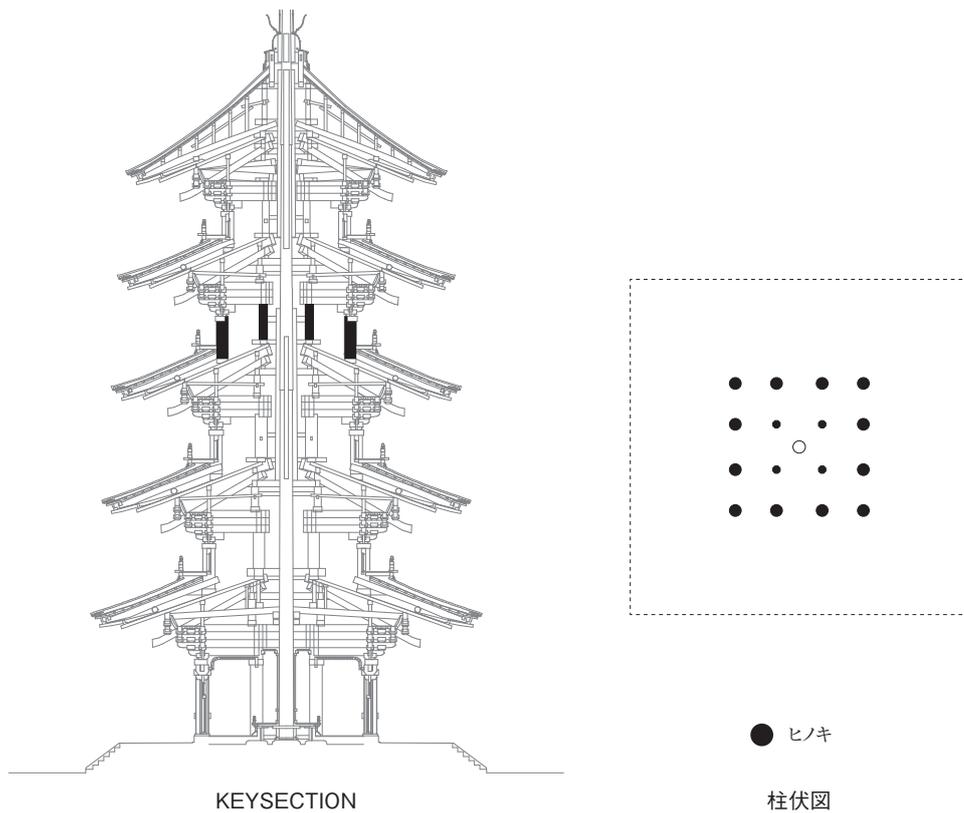
0.24	0.11	0.11	0.24
0.11	0.22	0.22	0.11
0.11	0.22	0.22	0.11
0.24	0.11	0.11	0.24

最大検定値

**【四重柱】**

**側柱** 寸法  $\phi 621$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積 =  $621^2 \pi / 4 = 302882 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 2192 mm、断面二次半径  $621/4 = 155$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $2192/155 = 14.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 302882 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2299 \text{ kN}$

**四天柱** 寸法  $\phi 418$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積 =  $418^2 \pi / 4 = 137228 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1653 mm、断面二次半径  $418/4 = 105$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1653/105 = 15.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 137228 \times 1.0 \times 10^{-3} = 1042 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位：kN)

370	178	178	370
178	248	248	178
178	248	248	178
370	178	178	370

検定比一覧

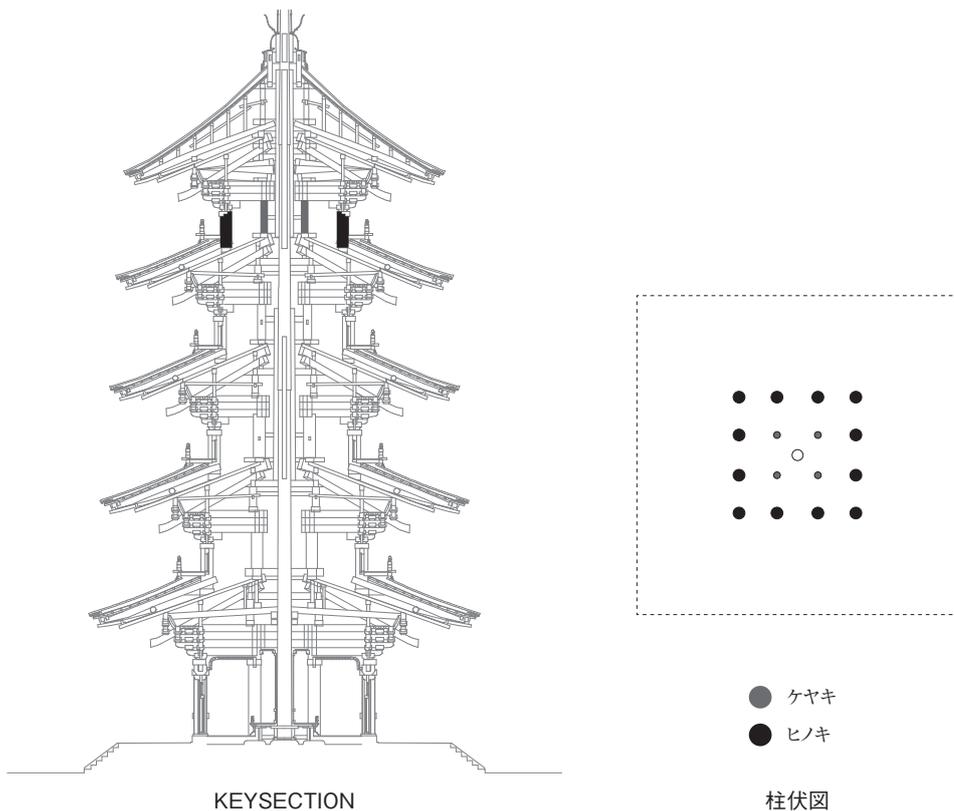
0.16	0.08	0.08	0.16
0.08	0.24	0.24	0.08
0.08	0.24	0.24	0.08
0.16	0.08	0.08	0.16

最大検定値

**【五重柱】**

**側柱** 寸法  $\phi 621$  mm、樹種 ヒノキ、全断面積  $= 621^2 \pi / 4 = 302882 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 2192 mm、断面二次半径  $621/4 = 155$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $2192/155 = 14.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 302882 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2299 \text{ kN}$

**四天柱** 寸法  $\phi 356$  mm、樹種 ケヤキ、全断面積  $= 356^2 \pi / 4 = 99538 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1736 mm、断面二次半径  $356/4 = 89$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1736/89 = 19.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.7 \times 99538 \times 1.0 \times 10^{-3} = 766 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位：kN)

193	93	93	193
93	111	111	93
93	111	111	93
193	93	93	193

検定比一覧

0.08	0.04	0.04	0.08
0.04	0.15	0.15	0.04
0.04	0.15	0.15	0.04
0.08	0.04	0.04	0.08

最大検定値

## 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断・めり込みに関する検討

### 1-2-1 四天柱盤の曲げ・せん断に関する検討

#### 1) 検討方法

四天柱盤に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

#### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- なお、興福寺五重塔の部材のうち、ケヤキと確認されている部材はケヤキで検定する。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。

#### 3) 検討結果

四天柱盤		(単位：kN,m)			
層名称	五重	四重	三重	二重	
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ケヤキ	ケヤキ	
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	
柱盤の幅 (mm)	365	350	445	475	
柱盤の成 (mm)	240	220	210	225	
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	87600	77000	93450	106875	
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3504000	2823333	3270750	4007813	
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	420480000	310566667	343428750	450878906	
断面検定					
M	2.0	2.3	3.2	4.0	
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.57	0.81	0.98	1.00	
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	35.28	35.28	
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	11.8	11.8	
曲げ検定比	0.05	0.08	0.08	0.08	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	
Q	6.3	7.1	8.0	9.0	
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.11	0.14	0.13	0.13	
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	3.0	3.0	
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.5	1.5	
せん断検定比	0.10	0.13	0.09	0.08	
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 1-2-2 むり込みに関する検討

## 1) 基本事項

各重の柱盤について、柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

柱より伝わる長期軸力に対する柱盤の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱			四天柱		
	柱径 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比	柱径 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比
五重	621	ヒノキ	0.16	356	ヒノキ	0.29
四重	621	ヒノキ	0.31	418	ヒノキ	0.46
三重	636	ヒノキ	0.47	540	ケヤキ	0.31
二重	636	ヒノキ* <sup>2</sup>	0.60	591	ヒノキ* <sup>3</sup>	0.50

\*<sup>1</sup> : 柱盤の樹種を示す。 \*<sup>2</sup> : 樹種不明のため、ヒノキと仮定。

\*<sup>3</sup> : ヒノキ材の上にケヤキ材を重ねている。ヒノキで検討。

## 2) 前提条件

興福寺五重塔に使用されている木材の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度  $F_{cv}$  7.8 N/mm<sup>2</sup> (告示 第1024号 第3第一号イに示される数値)
- ・ケヤキのめり込み基準強度  $F_{cv}$  10.8 N/mm<sup>2</sup> (同上)
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv}/3$   
(告示 第1024号 第1第一号イに示される数値)
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込む側の支圧面積とする。

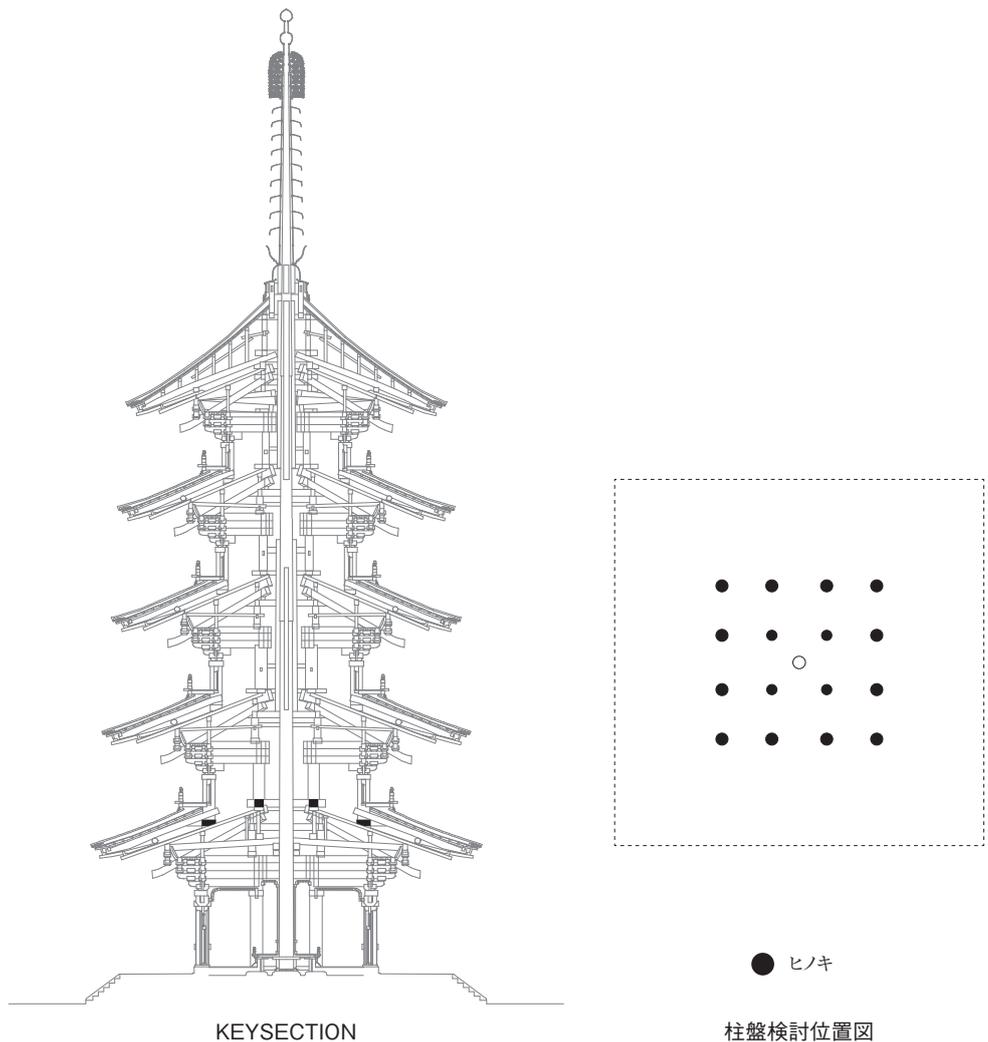
各重、柱ごとの柱盤の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

### 3) 各重ごとの検討結果

#### 【二重柱盤】

側柱 寸法  $\phi 636$  mm、全断面積 =  $636^2 \pi / 4 = 317690$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ヒノキ  
 側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$  kN

四天柱 寸法  $\phi 591$  mm、全断面積 =  $591^2 \pi / 4 = 274325$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ヒノキ  
 四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 274325 \times 10^{-3} = 1070$  kN



軸力一覧

(単位：kN)

746	387	387	746
387	532	532	387
387	532	532	387
746	387	387	746

検定比一覧

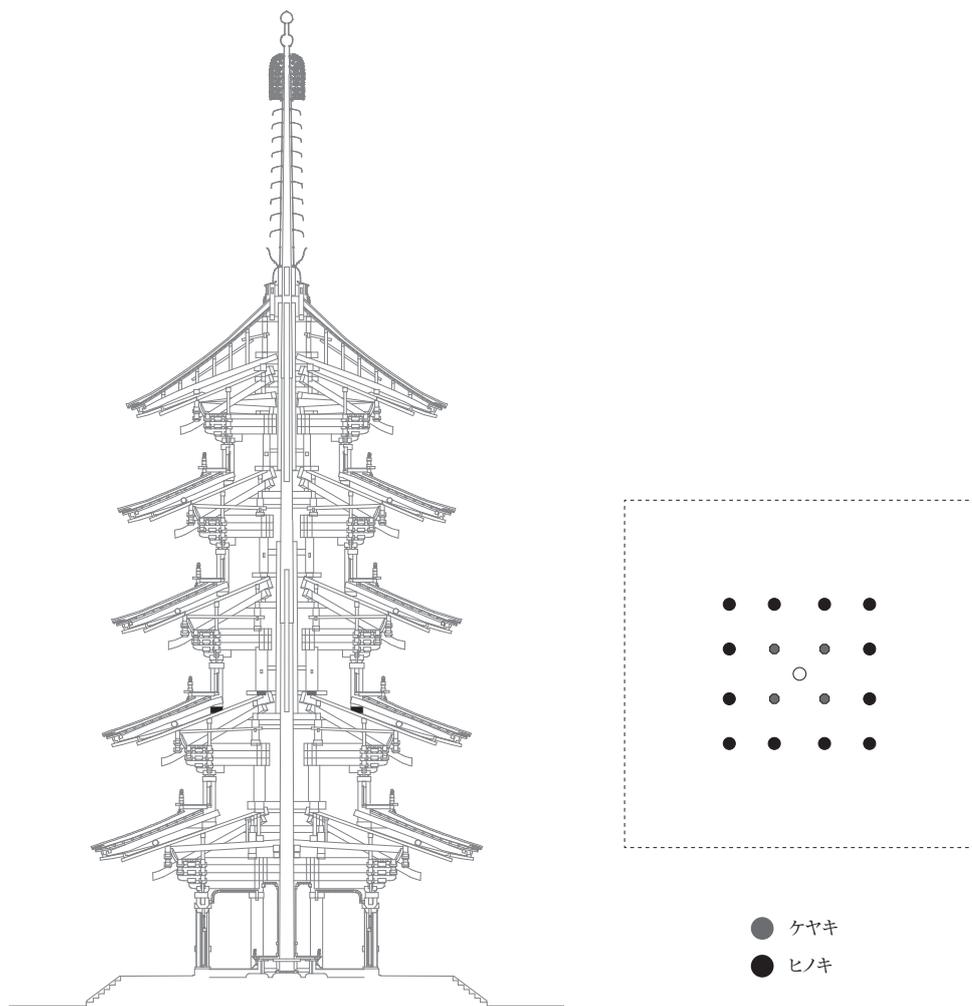
0.60	0.31	0.31	0.60
0.31	0.50	0.50	0.31
0.31	0.50	0.50	0.31
0.60	0.31	0.31	0.60

最大検定値

**【三重柱盤】**

**側柱** 寸法  $\phi 636$  mm、全断面積 =  $636^2 \pi / 4 = 317690$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ヒノキ  
 側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$  kN

**四天柱** 寸法  $\phi 540$  mm、全断面積 =  $540^2 \pi / 4 = 229022$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ケヤキ  
 四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 229022 \times 10^{-3} = 1237$  kN



KEYSECTION

柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位 : kN)

検定比一覧

579	266	266	579
266	380	380	266
266	380	380	266
579	266	266	579

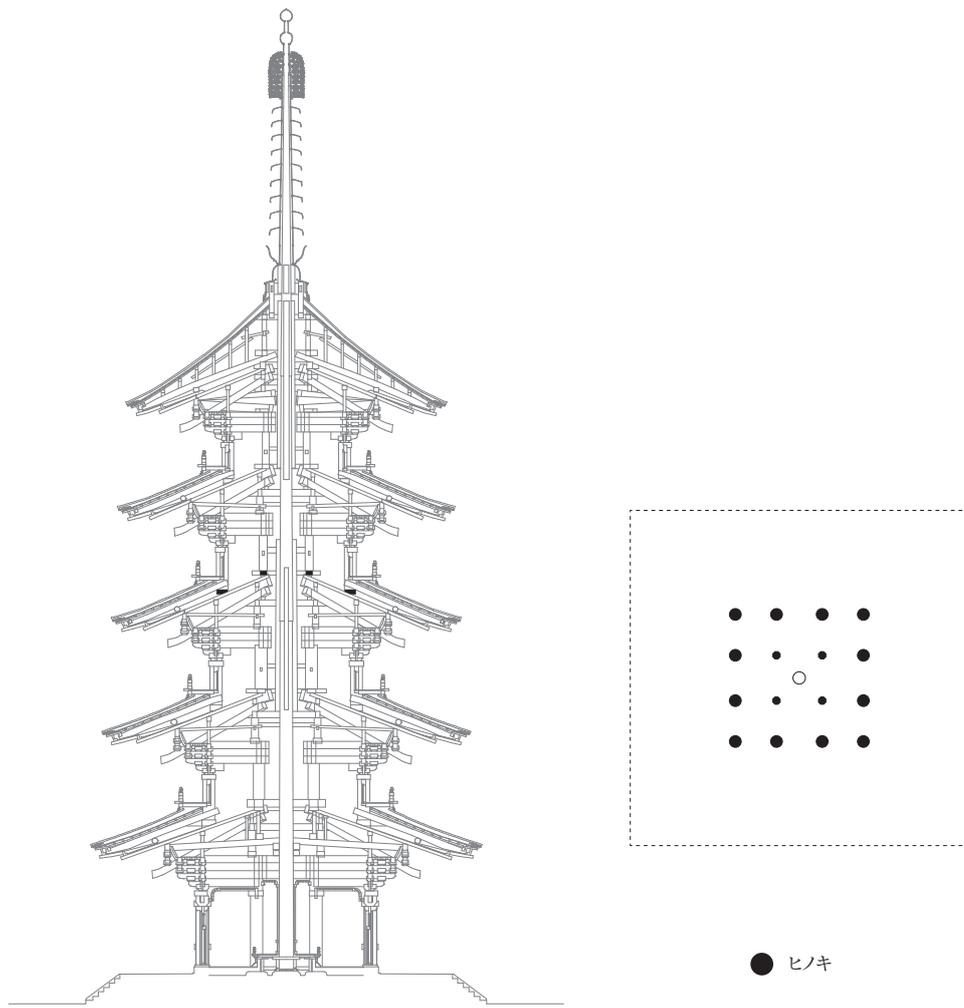
0.47	0.21	0.21	0.47
0.21	0.31	0.31	0.21
0.21	0.31	0.31	0.21
0.47	0.21	0.21	0.47

最大検定値

**【四重柱盤】**

**側 柱** 寸法  $\phi 621$  mm、全断面積 =  $621^2 \pi / 4 = 302882$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ヒノキ  
側柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 302882 \times 10^{-3} = 1181$  kN

**四天柱** 寸法  $\phi 418$  mm、全断面積 =  $418^2 \pi / 4 = 137228$  mm<sup>2</sup>、柱盤樹種 ヒノキ  
四天柱盤の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 137228 \times 10^{-3} = 535$  kN



KEYSECTION

柱盤検討位置図

軸力一覧

(単位：kN)

370	178	178	370
178	248	248	178
178	248	248	178
370	178	178	370

検定比一覧

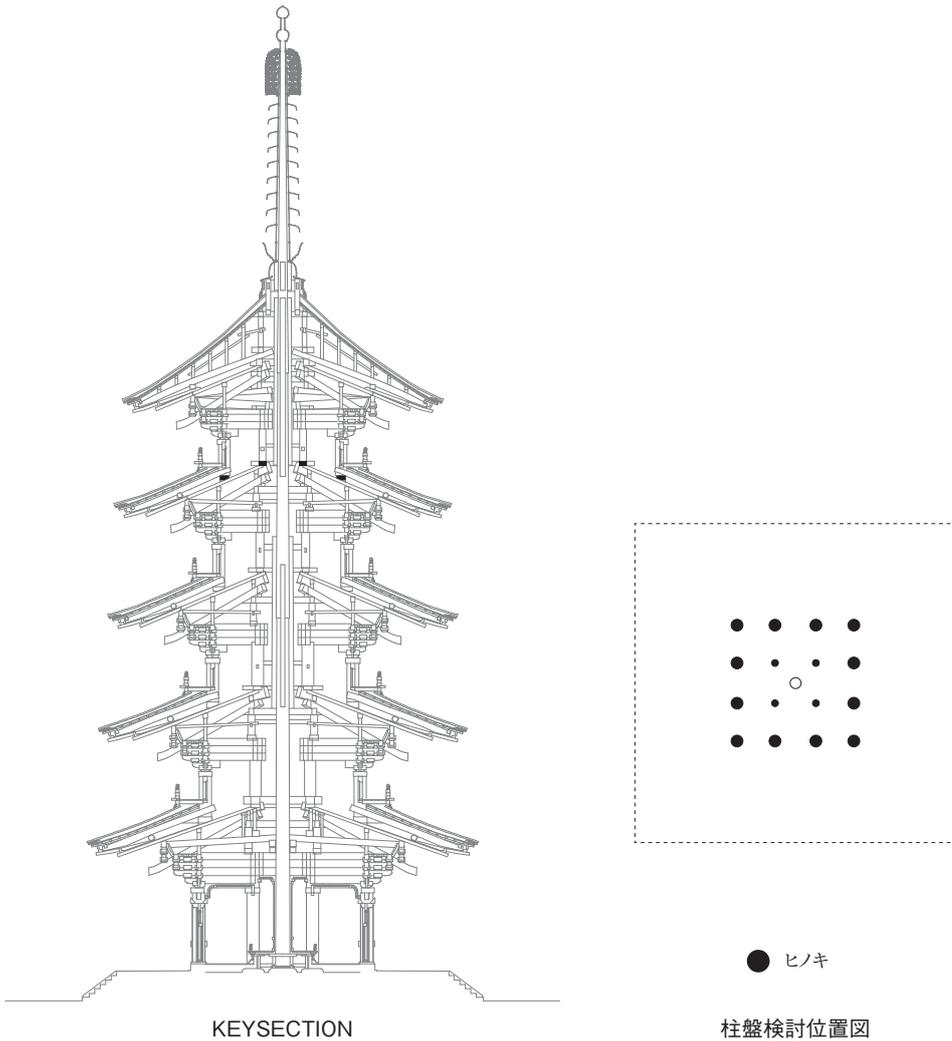
0.31	0.15	0.15	0.31
0.15	0.46	0.46	0.15
0.15	0.46	0.46	0.15
0.31	0.15	0.15	0.31

最大検定値

**【五重柱盤】**

**側柱** 寸法  $\phi 621$  mm、全断面積  $= 621^2 \pi / 4 = 302882 \text{ mm}^2$ 、柱盤樹種 ヒノキ  
 側柱盤の長期めり込み耐力  $= 3.9 \times 302882 \times 10^{-3} = 1181 \text{ kN}$

**四天柱** 寸法  $\phi 356$  mm、全断面積  $= 356^2 \pi / 4 = 99538 \text{ mm}^2$ 、柱盤樹種 ヒノキ  
 四天柱盤の長期めり込み耐力  $= 3.9 \times 99538 \times 10^{-3} = 388 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位：kN)

193	93	93	193
93	111	111	93
93	111	111	93
193	93	93	193

検定比一覧

0.16	0.08	0.08	0.16
0.08	0.29	0.29	0.08
0.08	0.29	0.29	0.08
0.16	0.08	0.08	0.16

最大検定値

### 1-3 台輪のめり込みに関する検討

#### 1) 基本事項

各重の台輪について、大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

大斗より伝わる長期軸力に対する台輪の長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	隅			隅以外		
	柱径 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比	柱径 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比
五重	621* <sup>2</sup>	ヒノキ	0.32	621* <sup>2</sup>	ヒノキ	0.15
四重	621* <sup>2</sup>	ヒノキ	0.52	621* <sup>2</sup>	ヒノキ	0.21
三重	636	ヒノキ	0.39	636	ヒノキ	0.15
二重	636	ヒノキ	0.50	636	ヒノキ	0.23
初重	655	ヒノキ	0.65	655	ヒノキ	0.35

\*<sup>1</sup>：台輪の樹種を示す。二重および三重以外は樹種不明のためヒノキと仮定。

\*<sup>2</sup>：台輪の支圧面積は、柱と台輪の納まりより、柱断面積の50%としている。

#### 2) 共通事項

興福寺五重塔に使用されている台輪の樹種は、ヒノキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度  $F_{cv}$  7.8 N/mm<sup>2</sup>（告示 第1024号 第3 第一号イに示される数値）
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv}/3$   
（告示 第1024号 第1 第一号イに示される数値）
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込む側の支圧面積とする。

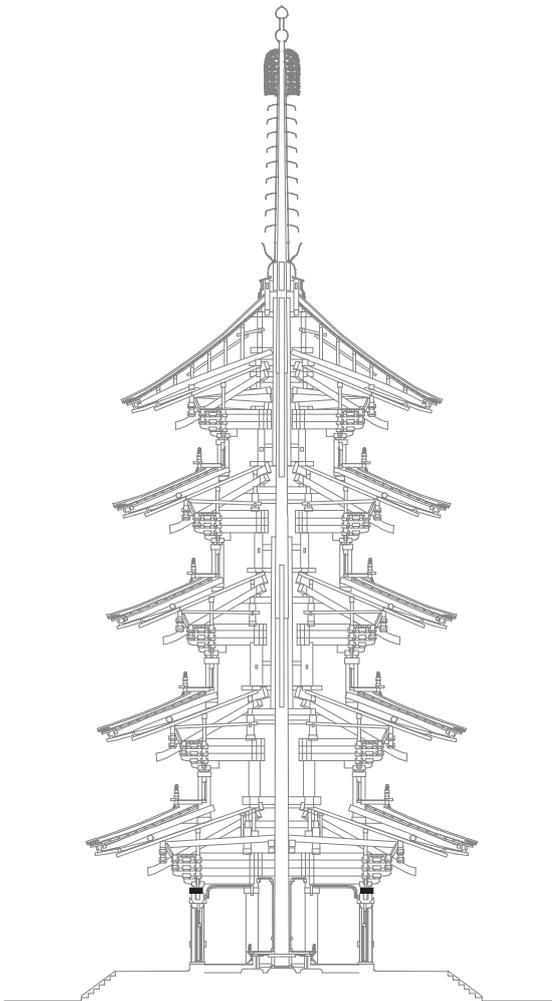
各重、柱ごとの台輪の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

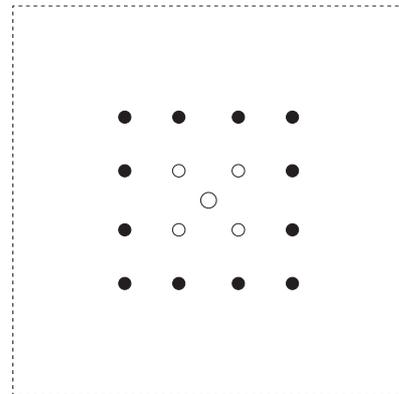
【初重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 655$  mm、全断面積 =  $655^2 \pi / 4 = 336955 \text{ mm}^2$

樹種 ヒノキ、初重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 336955 \times 10^{-3} = 1314 \text{ kN}$



KEYSECTION



● ヒノキ

台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

854	462	462	854
462			462
462			462
854	462	462	854

検定比一覧

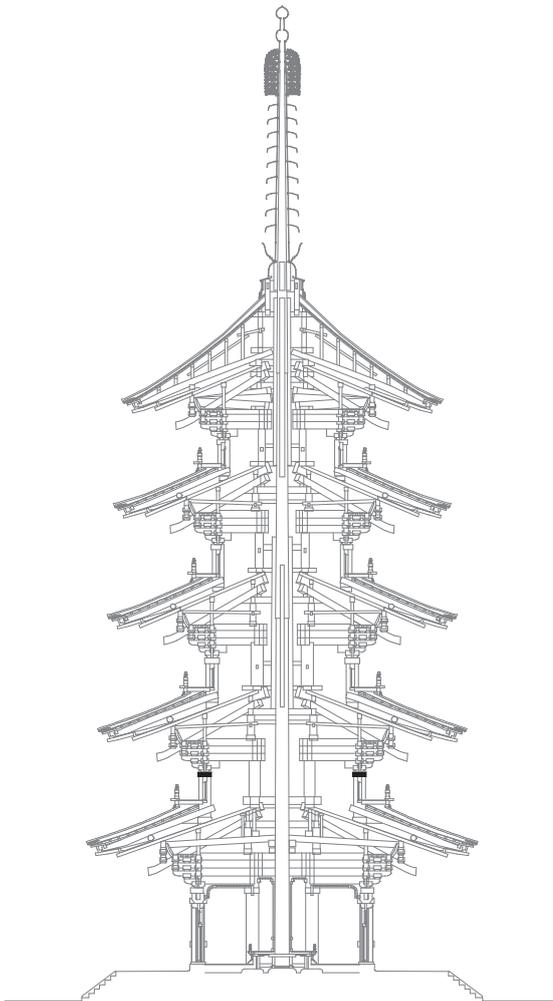
0.65	0.35	0.35	0.65
0.35			0.35
0.35			0.35
0.65	0.35	0.35	0.65

最大検定値

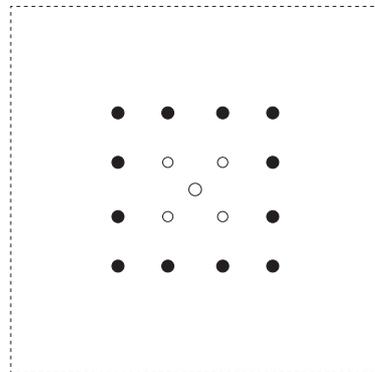
【二重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 636$  mm、全断面積 =  $636^2 \pi / 4 = 317690$  mm<sup>2</sup>

樹種 ヒノキ、二重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239$  kN



KEYSECTION



● ヒノキ

台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位：kN)

623	283	283	623
283			283
283			283
623	283	283	623

検定比一覧

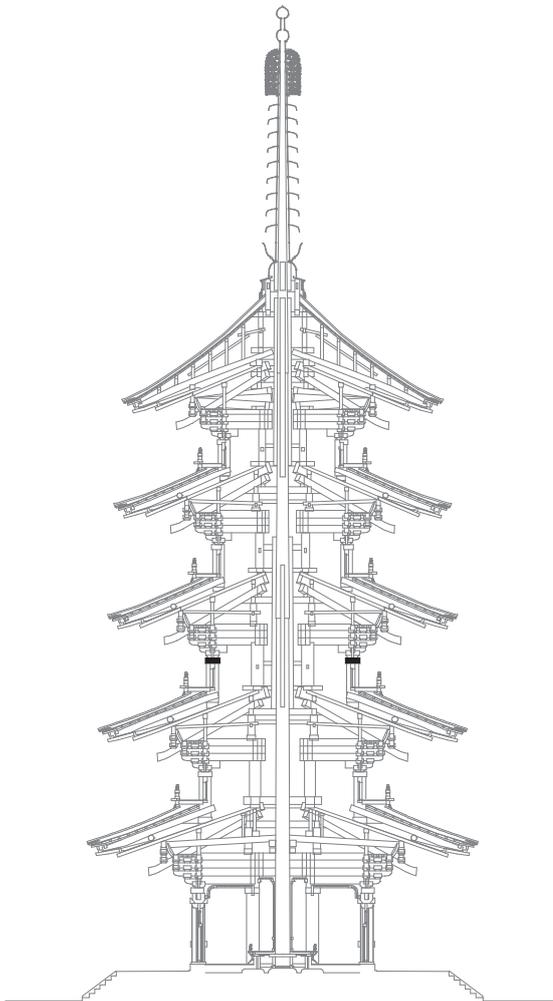
0.50	0.23	0.23	0.50
0.23			0.23
0.23			0.23
0.50	0.23	0.23	0.50

最大検定値

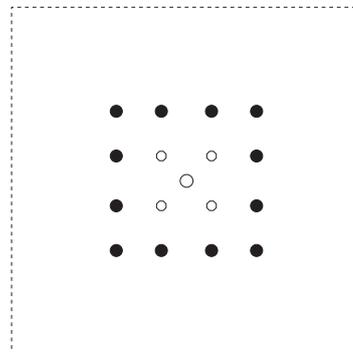
【三重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 636 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 636^2 \pi / 4 = 317690 \text{ mm}^2$

樹種 ヒノキ、三重台輪の長期めり込み耐力  $= 3.9 \times 317690 \times 10^{-3} = 1239 \text{ kN}$



KEYSECTION



● ヒノキ

台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位：kN)

483	185	185	483
185			185
185			185
483	185	185	483

検定比一覧

0.39	0.15	0.15	0.39
0.15			0.15
0.15			0.15
0.39	0.15	0.15	0.39

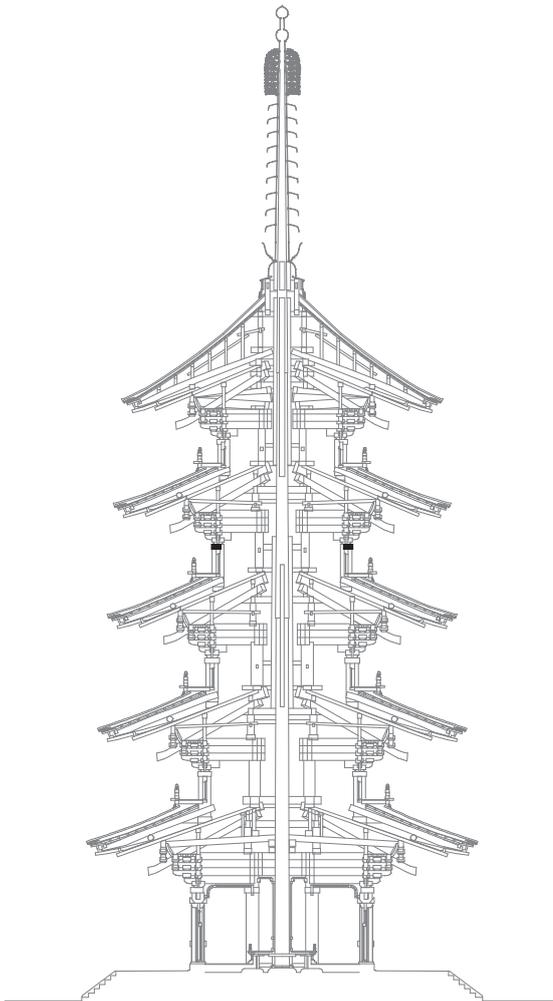
最大検定値

【四重台輪】

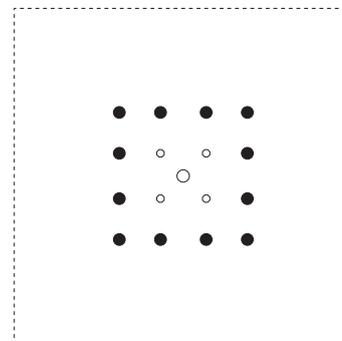
台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 621$  mm、全断面積 =  $621^2 \pi / 4 = 302882 \text{ mm}^2$ 、

台輪と柱の支圧面積は、全断面積の50%とする。

樹種 ヒノキ、四重台輪の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 0.5 \times 302822 \times 10^{-3} = 591 \text{ kN}$



KEYSECTION



● ヒノキ

台輪検討位置伏図

軸力一覧

(単位：kN)

306	126	126	306
126			126
126			126
306	126	126	306

検定比一覧

0.52	0.21	0.21	0.52
0.21			0.21
0.21			0.21
0.52	0.21	0.21	0.52

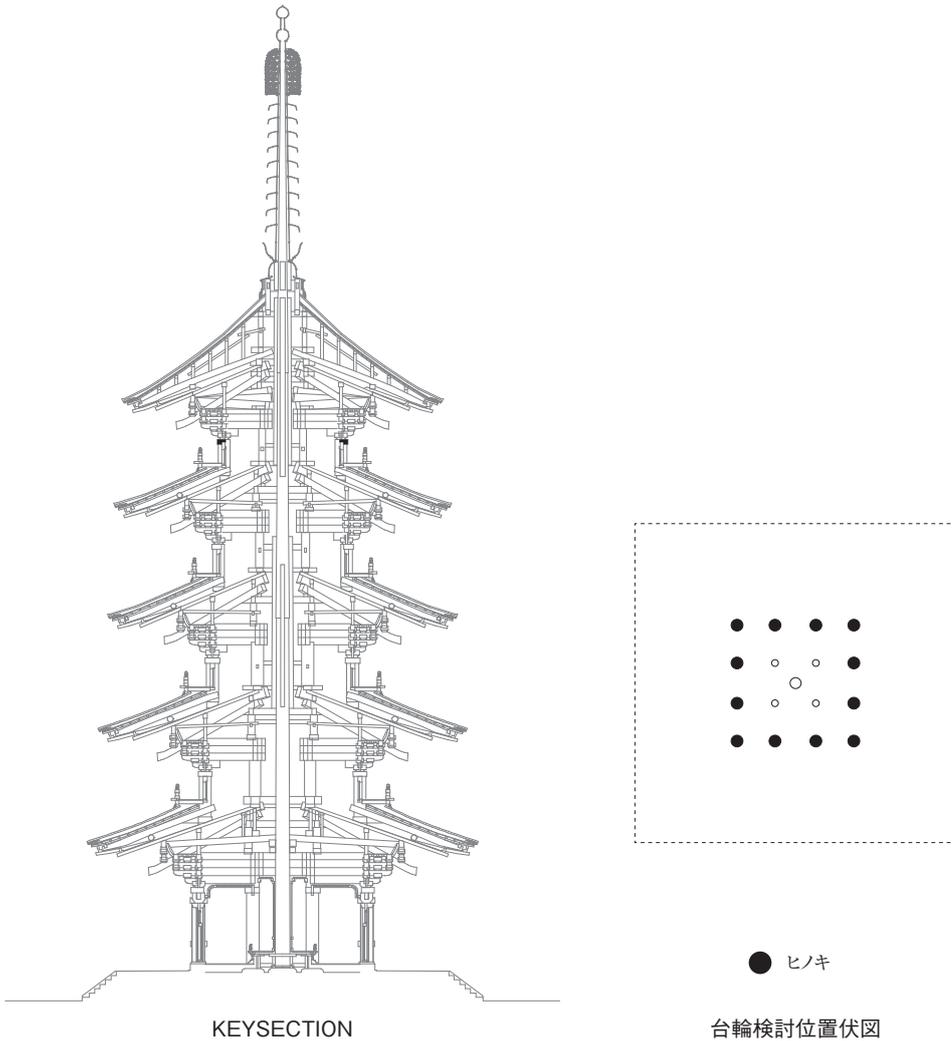
最大検定値

【五重台輪】

台輪下円柱の柱頭の寸法  $\phi 621 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 621^2 \pi / 4 = 302882 \text{ mm}^2$

台輪と柱の支圧面積は、全断面積の50%とする。

樹種 ヒノキ、五重台輪の長期めり込み耐力  $= 3.9 \times 0.5 \times 317882 \times 10^{-3} = 591 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位: kN)

188	88	88	188
88			88
88			88
188	88	88	188

検定比一覧

0.32	0.15	0.15	0.32
0.15			0.15
0.15			0.15
0.32	0.15	0.15	0.32

最大検定値

## 2 組物の検討

### 2-1 大斗のめり込みに関する検討

#### 1) 基本事項

各重の大斗について、長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値を一覧で示す。

長期に生じる軸力に対する長期めり込み耐力の検定比の最大値一覧

層	隅			隅以外		
	大斗尻 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比	大斗尻 (mm)	樹種* <sup>1</sup>	検定比
五重	379	ケヤキ	0.24	379	ヒノキ	0.16
四重	379	ケヤキ	0.39	379	ケヤキ	0.16
三重	379	ケヤキ	0.62	379	ケヤキ	0.24
二重	379	ケヤキ	0.80	379	ケヤキ	0.36
初重	379	ケヤキ	1.10	379	ケヤキ	0.60

\*<sup>1</sup>：大斗の樹種を示す。

網掛けは、許容値（検定比1.00）を超える箇所を示す。

#### 2) 前提条件

興福寺五重塔に使用されている大斗の樹種は、ヒノキもしくはケヤキである。めり込みの耐力の算出に係る共通事項を示す。

- ・ヒノキのめり込み基準強度  $F_{cv}$  7.8 N/mm<sup>2</sup>（告示 第1024号 第3 第一号イに示される数値）
- ・ケヤキのめり込み基準強度  $F_{cv}$  10.8 N/mm<sup>2</sup>（同上）
- ・長期に生じる力に対するめり込みの許容応力度  $1.5 \times F_{cv}/3$   
（告示 第1024号 第1 第一号イに示される数値）
- ・長期めり込み耐力算出用の有効断面は、めり込む側の支圧面積とする。

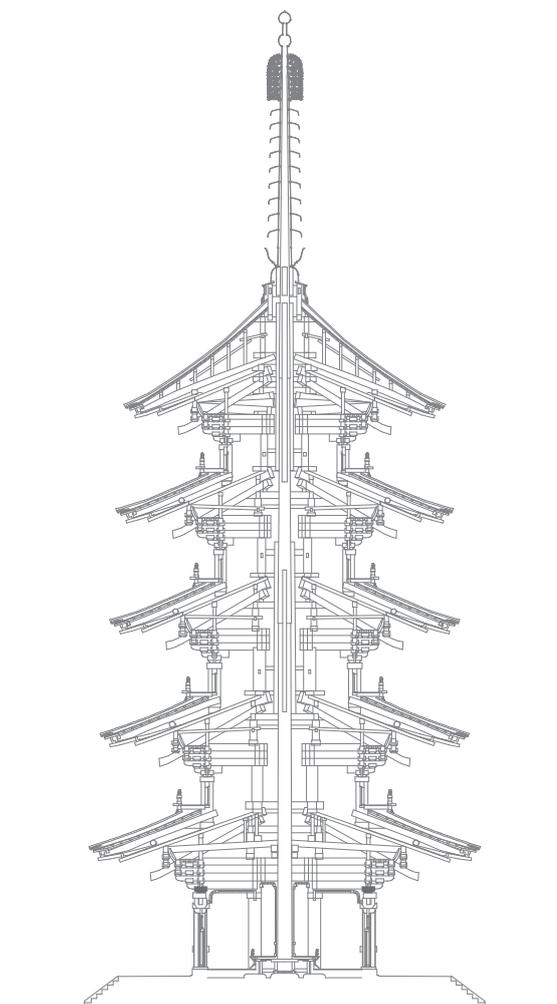
各重、柱ごとの大斗の軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

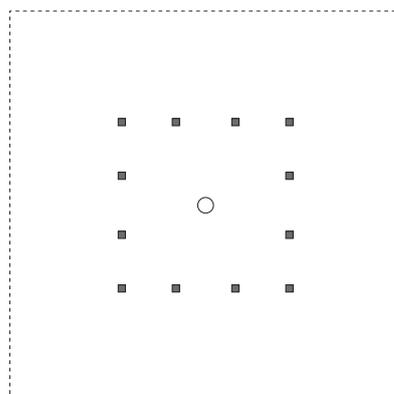
【初重大斗】

初重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

初重大斗の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



KEYSECTION



■ ケヤキ

大斗伏図

軸力一覧

(単位 : kN)

854	462	462	854
462			462
462			462
854	462	462	854

検定比一覧

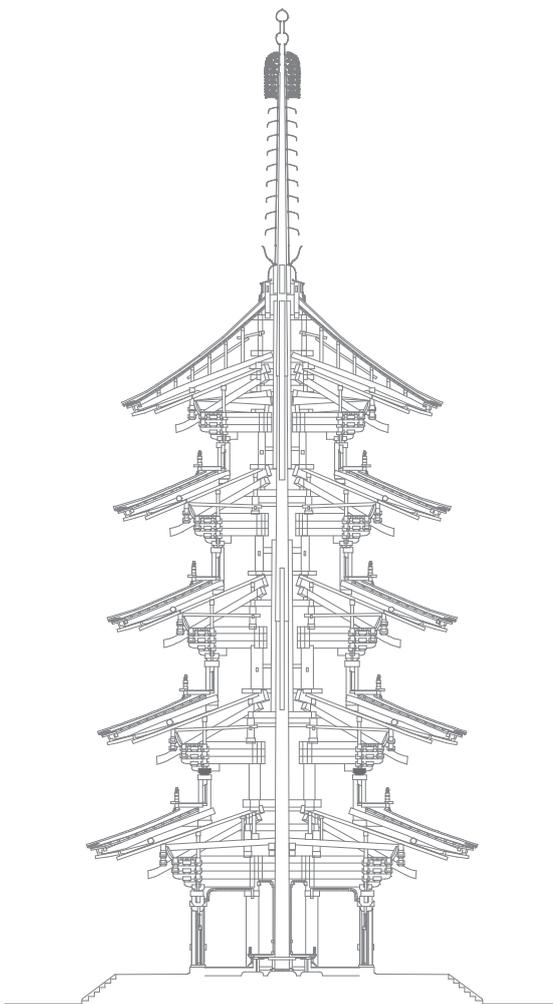
1.10	0.60	0.60	1.10
0.60			0.60
0.60			0.60
1.10	0.60	0.60	1.10

最大検定値

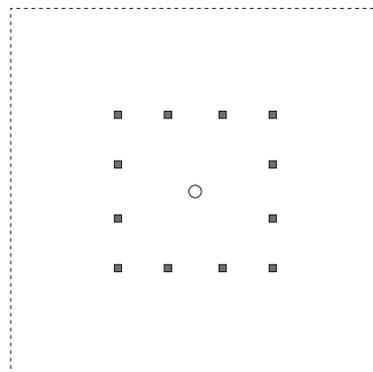
【二重大斗】

二重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

二重大斗の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



KEYSECTION



■ ケヤキ

大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

623	283	283	623
283			283
283			283
623	283	283	623

検定比一覧

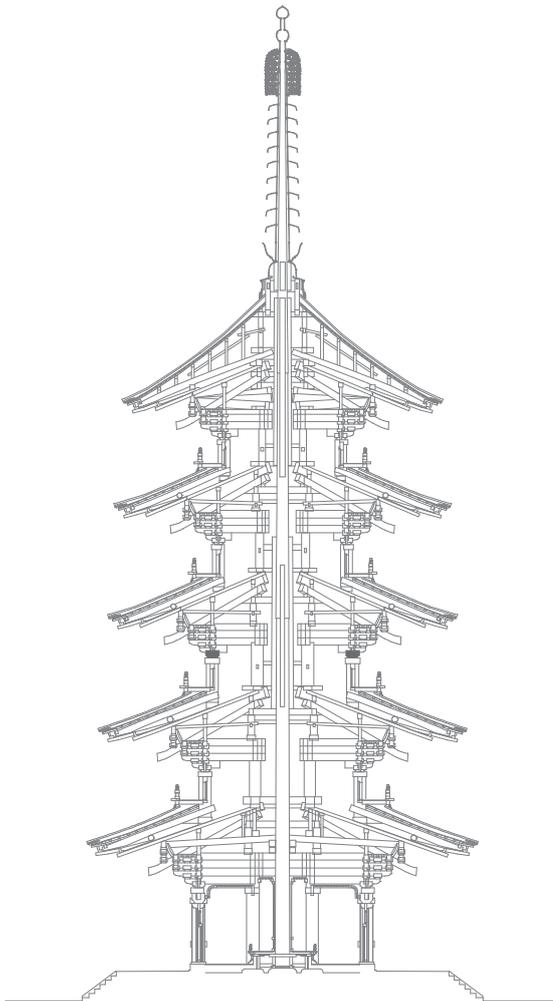
0.80	0.36	0.36	0.80
0.36			0.36
0.36			0.36
0.80	0.36	0.36	0.80

最大検定値

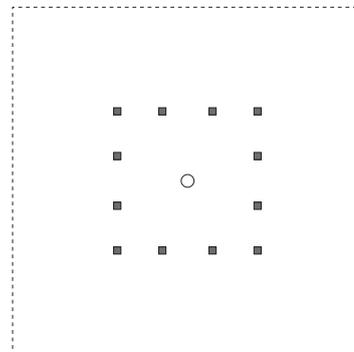
【三重大斗】

三重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

三重大斗の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



KEYSECTION



■ ケヤキ

大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

483	185	185	483
185			185
185			185
483	185	185	483

検定比一覧

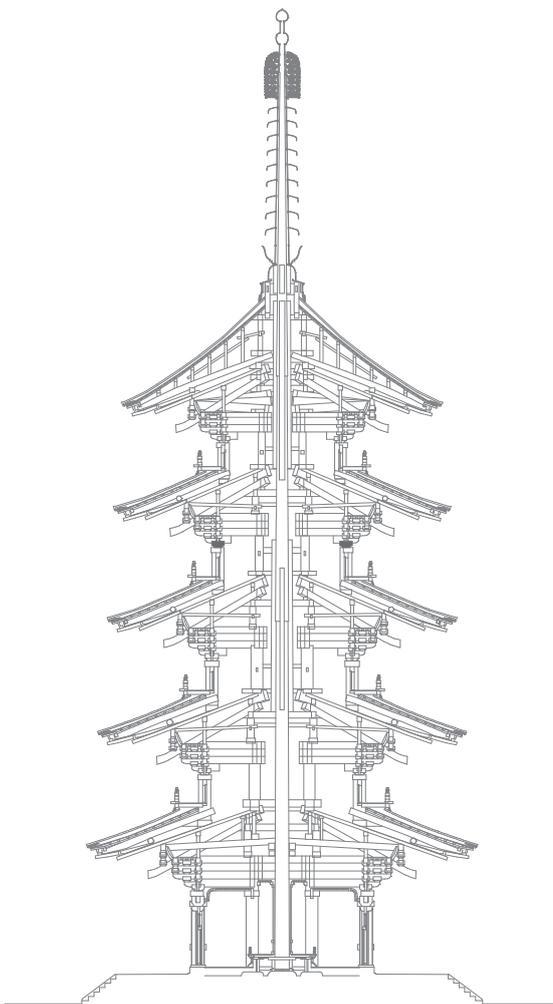
0.62	0.24	0.24	0.62
0.24			0.24
0.24			0.24
0.62	0.24	0.24	0.62

最大検定値

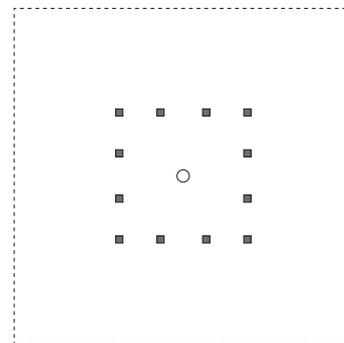
【四重大斗】

四重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ

四重大斗の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$



KEYSECTION



■ ケヤキ

大斗伏図

軸力一覧

(単位：kN)

306	126	126	306
126			126
126			126
306	126	126	306

検定比一覧

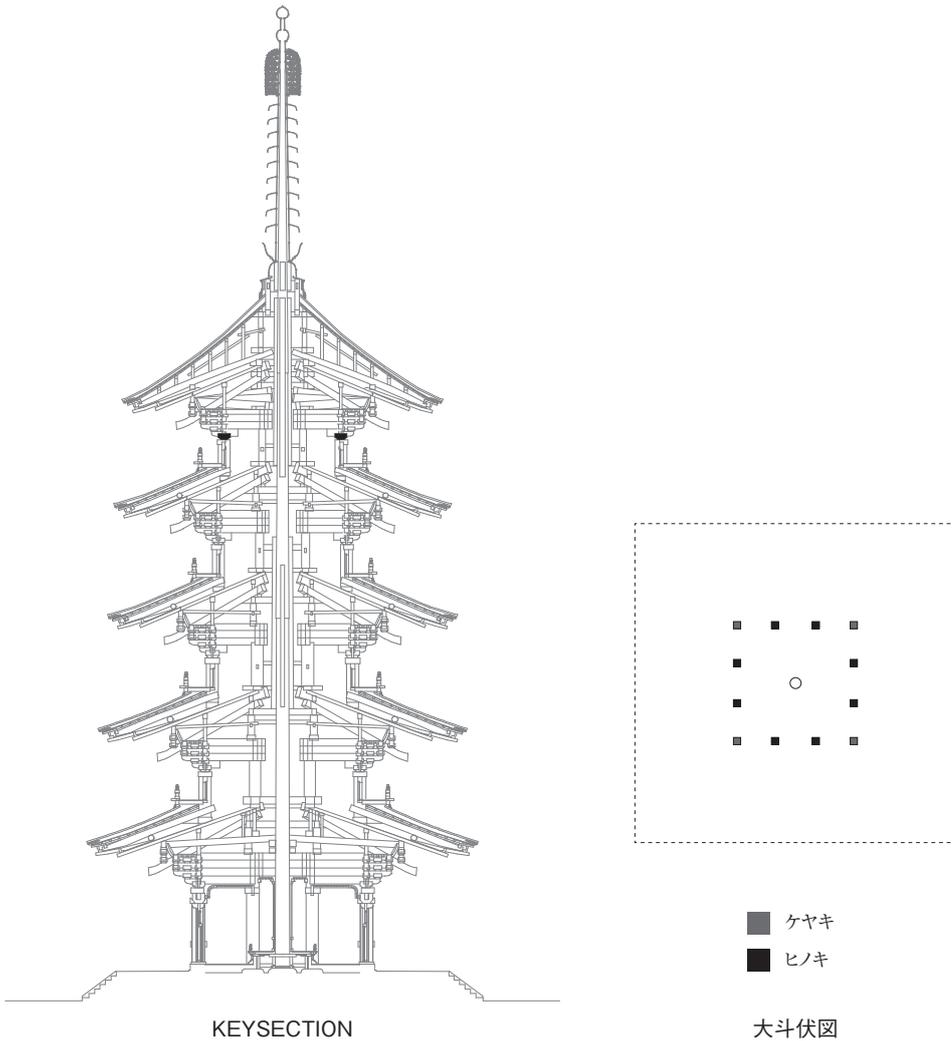
0.39	0.16	0.16	0.39
0.16			0.16
0.16			0.16
0.39	0.16	0.16	0.39

最大検定値

【五重大斗】

五重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ケヤキ  
 隅柱位置の五重大斗の長期めり込み耐力 =  $5.4 \times 143641 \times 10^{-3} = 776 \text{ kN}$

五重大斗尻寸法 379 mm×379 mm、全断面積 =  $379^2 = 143641 \text{ mm}^2$ 、樹種 ヒノキ  
 隅柱以外の位置の五重大斗の長期めり込み耐力 =  $3.9 \times 143641 \times 10^{-3} = 560 \text{ kN}$



軸力一覧

(単位 : kN)

188	88	88	188
88			88
88			88
188	88	88	188

検定比一覧

0.24	0.16	0.16	0.24
0.16			0.16
0.16			0.16
0.24	0.16	0.16	0.24

最大検定値

## 2-2 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

### 2-2-1 平部の肘木

#### 1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

#### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

#### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定					
四の肘木の幅 (mm)	230	230	230	230	230
四の肘木の成 (mm)	260	260	260	260	260
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	59800	59800	59800	59800	59800
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2591333	2591333	2591333	2591333	2591333
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	336873333	336873333	336873333	336873333	336873333
断面検定					
M	8.0	11.0	16.0	21.0	40.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.1	4.2	6.2	8.1	15.4
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.29	0.40	0.58	0.76	1.45
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	7.0	10.0	14.0	19.0	36.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.25	0.35	0.48	0.90
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.24	0.33	0.45	0.86
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位：kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定					
三の肘木の幅 (mm)	230	230	230	230	230
三の肘木の成 (mm)	260	260	260	260	260
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	59800	59800	59800	59800	59800
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2591333	2591333	2591333	2591333	2591333
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	336873333	336873333	336873333	336873333	336873333
断面検定					
M	7.0	8.0	10.0	15.0	32.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.7	3.1	3.9	5.8	12.3
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.25	0.29	0.36	0.54	1.16
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	7.0	7.0	10.0	13.0	28.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.18	0.25	0.33	0.70
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.17	0.24	0.31	0.67
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
二の肘木 検定					
二の肘木の幅 (mm)	230	230	230	230	230
二の肘木の成 (mm)	265	265	265	265	265
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	60950	60950	60950	60950	60950
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2691958	2691958	2691958	2691958	2691958
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	356684479	356684479	356684479	356684479	356684479
断面検定					
M	6.0	7.0	8.0	16.0	34.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.3	2.7	3.1	6.2	13.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.22	0.25	0.29	0.58	1.23
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	5.0	8.0	8.0	18.0	30.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.13	0.20	0.20	0.45	0.75
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.12	0.19	0.19	0.43	0.72
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
一の肘木 検定					
一の肘木の幅 (mm)	240	240	240	240	240
一の肘木の成 (mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	64800	64800	64800	64800	64800
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2916000	2916000	2916000	2916000	2916000
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	393660000	393660000	393660000	393660000	393660000
断面検定					
フェース位置のM	2.4	2.8	5.2	6.5	21.4
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.8	0.9	1.8	2.2	7.3
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.08	0.09	0.17	0.21	0.69
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	11.0	13.0	21.0	29.0	57.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.25	0.30	0.49	0.67	1.32
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.24	0.29	0.46	0.64	1.26
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 2-2-2 隅行きの肘木

### 1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、一の肘木上巻斗と一木造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。

### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ	ケヤキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	7840	7840	7840	7840	7840
四の肘木 検定					
四の肘木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
四の肘木の成 (mm)	258	407	349	391	370
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	62436	105820	90740	102833	96200
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2684748	7178123	5278043	6701284	5932333
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	346332492	1460748098	921018562	1310100989	1097481667
断面検定					
M	9.0	16.0	25.0	27.0	46.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.4	2.2	4.7	4.0	7.8
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.29	0.19	0.40	0.34	0.66
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	11.0	24.0	42.0	59.0	66.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.26	0.34	0.69	0.86	1.03
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.18	0.23	0.46	0.57	0.69
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位：kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定					
三の肘木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
三の肘木の成 (mm)	360	390	390	391	424
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	87120	101400	101400	102833	110240
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	5227200	6591000	6591000	6701284	7790293
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	940896000	1285245000	1285245000	1310100989	1651542187
断面検定					
M	8.0	15.0	22.0	27.0	55.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	2.3	3.3	4.0	7.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.13	0.19	0.28	0.34	0.60
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	4.0	5.0	7.0	8.0	17.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.07	0.07	0.10	0.12	0.23
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.05	0.05	0.07	0.08	0.15
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
二の肘木 検定					
二の肘木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
二の肘木の成 (mm)	360	390	390	391	424
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	87120	101400	101400	102833	110240
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	5227200	6591000	6591000	6701284	7790293
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	940896000	1285245000	1285245000	1310100989	1651542187
断面検定					
M	9.0	14.0	19.0	30.0	67.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.7	2.1	2.9	4.5	8.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.15	0.18	0.25	0.38	0.73
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	8.0	13.0	23.0	31.0	37.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.14	0.19	0.34	0.45	0.50
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.09	0.13	0.23	0.30	0.34
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
一の肘木 検定					
一の肘木の幅 (mm)	242	260	260	263	260
一の肘木の成 (mm)	360	390	412	391	424
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	87120	101400	107120	102833	110240
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	5227200	6591000	7355573	6701284	7790293
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	940896000	1285245000	1515248107	1310100989	1651542187
断面検定					
フェース位置のM	7.5	12.4	15.6	24.1	46.5
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.4	1.9	2.1	3.6	6.0
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.12	0.16	0.18	0.31	0.51
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	17.0	27.0	40.0	55.0	69.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.29	0.40	0.56	0.80	0.94
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.20	0.27	0.37	0.53	0.63
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 2-3 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

### 1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820
平の尾垂木の幅 (mm)	240	240	240	240	240
平の尾垂木の成 (mm)	335	335	335	335	335
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	80400	80400	80400	80400	80400
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	4489000	4489000	4489000	4489000	4489000
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	751907500	751907500	751907500	751907500	751907500
平の尾垂木の断面検定					
M	20.0	24.0	25.0	43.0	44.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	4.46	5.35	5.57	9.58	9.80
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.42	0.50	0.52	0.90	0.92
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	13.0	13.0	14.0	24.0	23.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.24	0.24	0.26	0.45	0.43
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.23	0.23	0.25	0.43	0.41
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位：kN.m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820
隅行尾垂木(上)の幅(mm)	192	192	192	192	192
隅行尾垂木(上)の成(mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	51840	51840	51840	51840	51840
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2332800	2332800	2332800	2332800	2332800
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	314928000	314928000	314928000	314928000	314928000
隅行尾垂木(上)の断面検定					
M	0.4	0.4	0.4	0.5	2.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.17	0.17	0.17	0.21	0.86
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	0.4	0.4	0.4	0.5	1.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
隅行尾垂木(下)の幅(mm)	192	192	192	192	192
隅行尾垂木(下)の成(mm)	270	270	270	270	270
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	51840	51840	51840	51840	51840
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2332800	2332800	2332800	2332800	2332800
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	314928000	314928000	314928000	314928000	314928000
隅行尾垂木(下)の断面検定					
M	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.29	1.29	1.71	1.71	2.57
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.12	0.12	0.16	0.16	0.24
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証(検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

### 3 軒の検討

#### 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

##### 1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

##### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

##### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

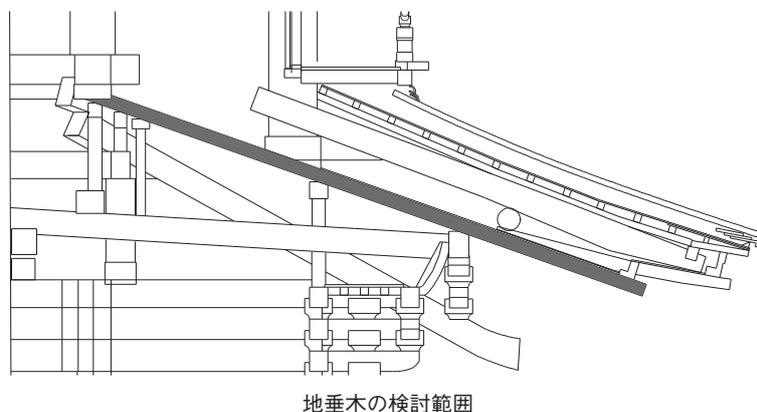
層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820
丸桁の幅 (mm)	212	212	212	212	212
丸桁の成 (mm)	317	317	317	317	317
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	67204	67204	67204	67204	67204
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3550611	3550611	3550611	3550611	3550611
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	562771896	562771896	562771896	562771896	562771896
断面検定					
M	11.8	11.2	11.1	17.7	14.5
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.34	3.15	3.14	4.99	4.08
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.31	0.30	0.29	0.47	0.38
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	14.6	15.5	17.0	18.8	12.9
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.32	0.35	0.38	0.42	0.29
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.31	0.33	0.36	0.40	0.27
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

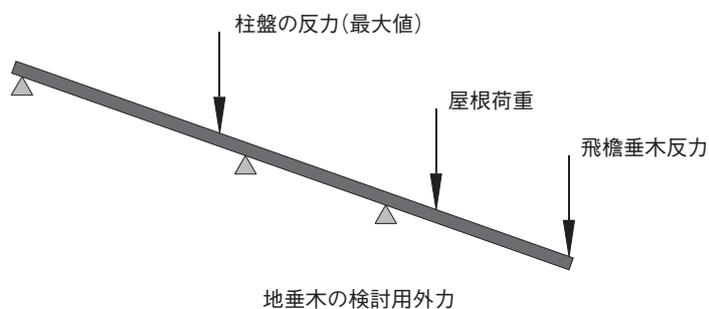
### 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

#### 1) 検討対象および方法

- ・地垂木の検討対象は、先端から内部引込み端までの全長とする。

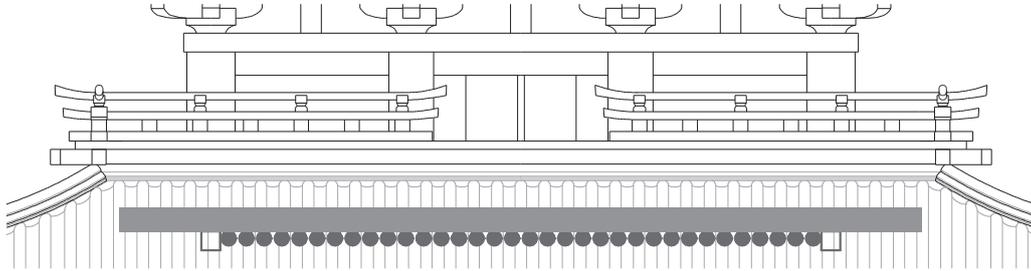


- ・先端の飛檐垂木から伝わる力を外力として考慮する。
- ・瓦葺き範囲は、固定荷重として考慮する。
- ・上層の側柱に長期に生じる軸力が柱盤を介して伝わる力を外力として考慮する。
- ・柱盤からの外力は、柱盤の剛性、柱位置および配置により、垂木ごとに値が異なる。
- ・地垂木の断面検定において、柱盤からの外力は最大値を採用する。

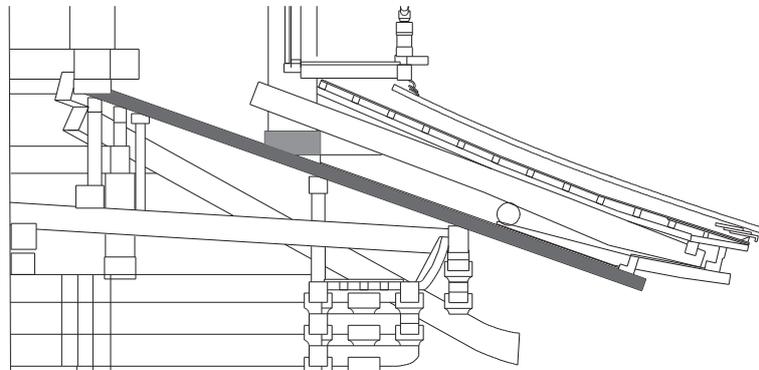


- ・地垂木検討用の柱盤からの外力(柱盤の反力)を設定する方法は、次項に示す。あわせて、柱盤の応力-変形も求め、柱盤の断面検定もおこなう。

- ・柱盤は、上層の柱を受ける横架材である。
- ・柱盤の両端は隅木で支えられている。両端以外は柱盤の説明図(2)に示すとおり、直下の複数本の地垂木で支えられている。

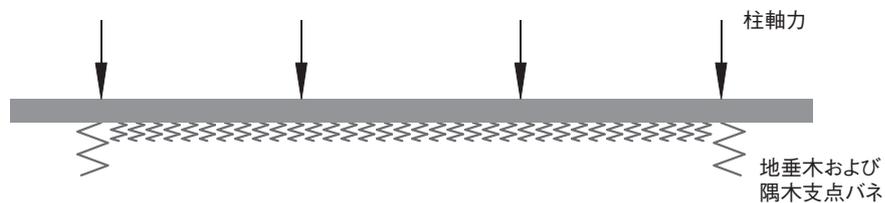


柱盤の説明図(1)



柱盤の説明図(2)

- ・柱盤は、側柱に長期に生じる軸力を受ける弾性支承上の梁として、反力および応力-変形を求める。支点は、柱盤両端の隅木と柱盤直下のすべての地垂木とする。支点のバネは圧縮専用バネとし、隅木および垂木のたわみ量を元に設定する。
- ・側柱に長期に生じる軸力は、架構解析により求めた値を採用する。

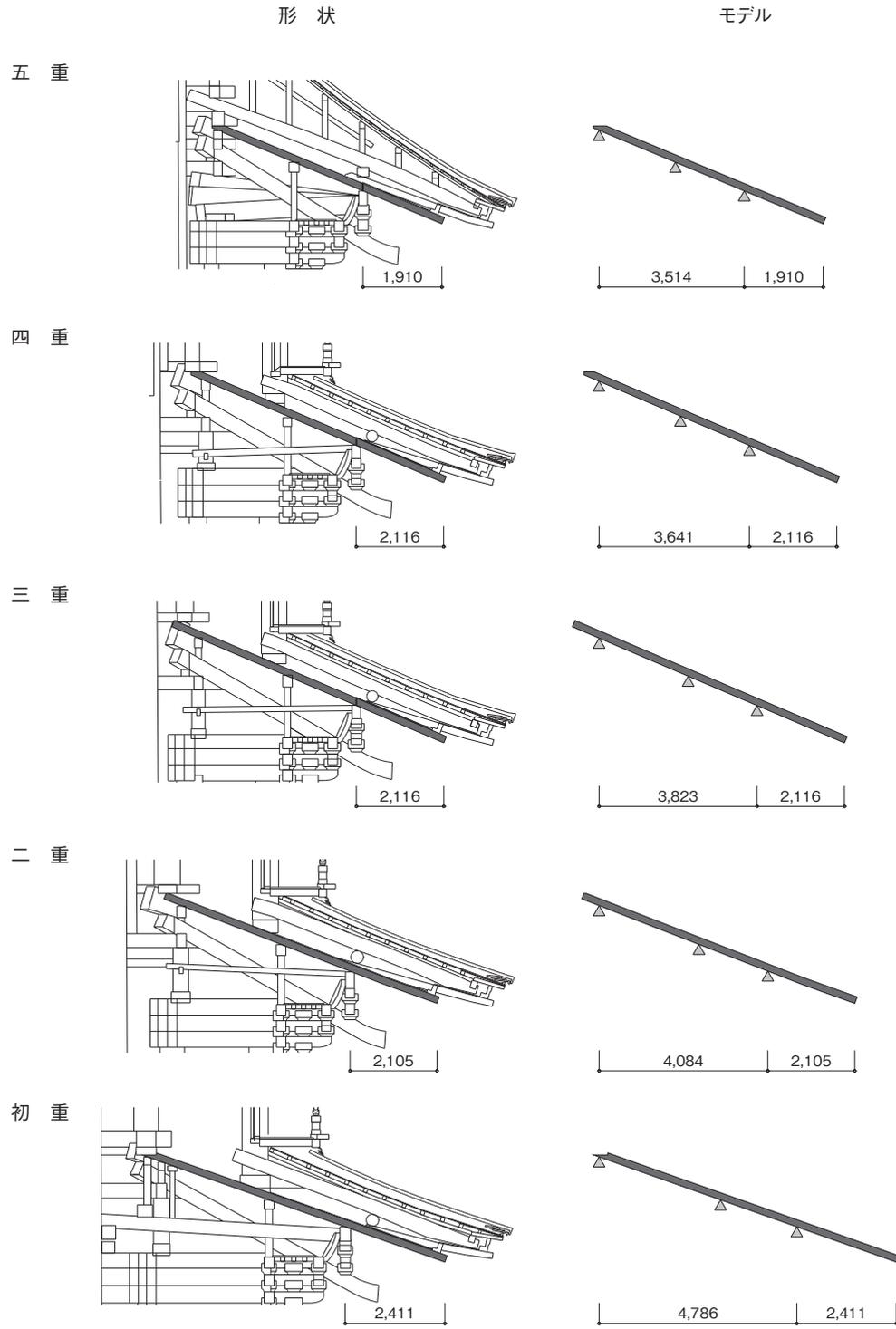


柱盤の応力算定モデル

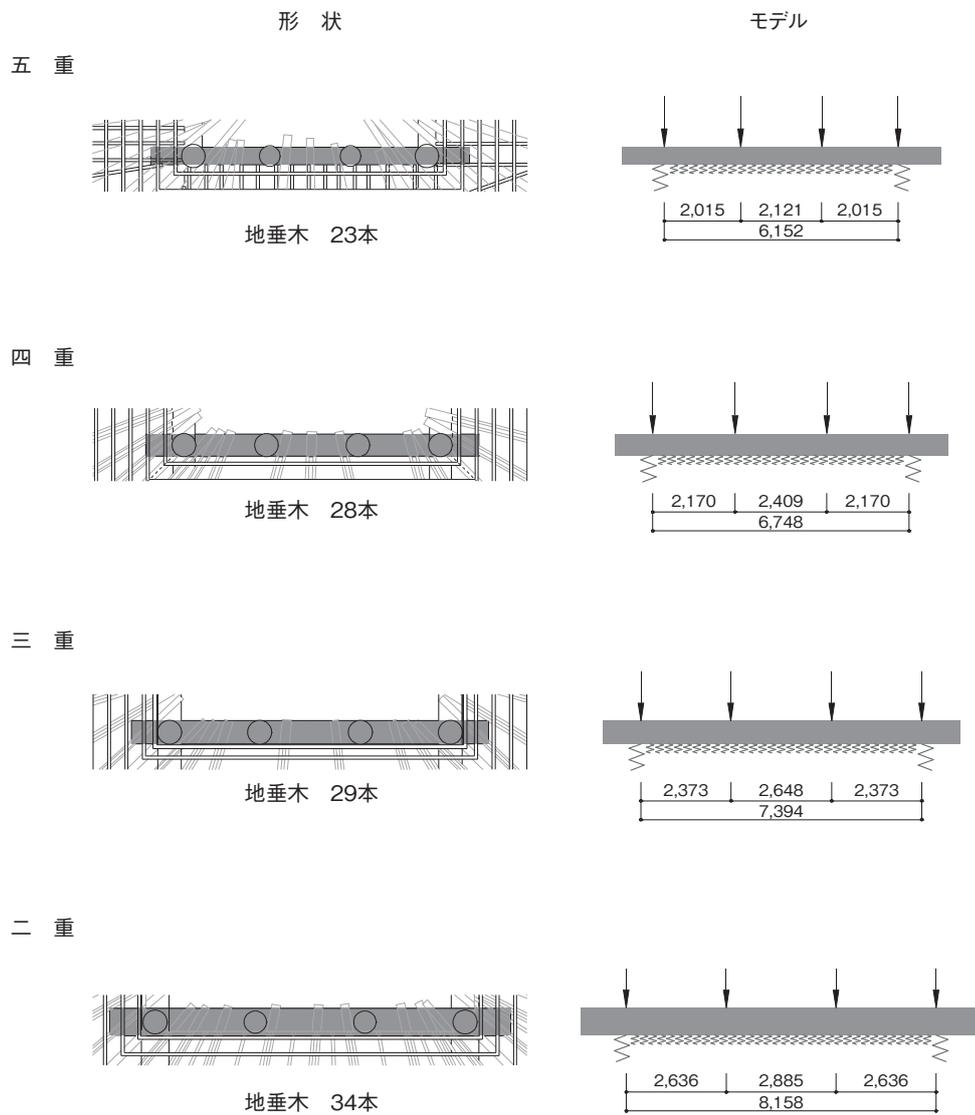
- ・地垂木および柱盤の応力と変形は、FEM解析による。

2) 検討用寸法一覧

a) 地垂木の検討寸法とモデル



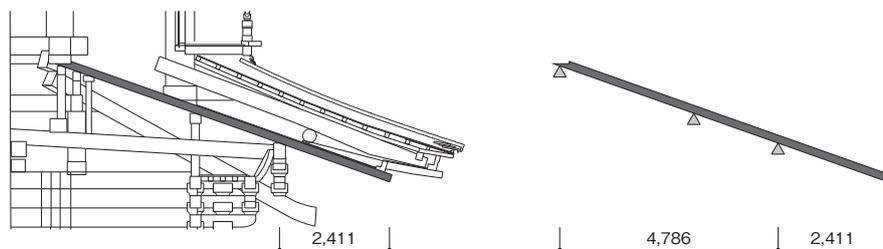
b) 柱盤の検討寸法とモデル



## 3) 検討結果

## a) 地垂木

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定位置：丸桁および柱盤位置



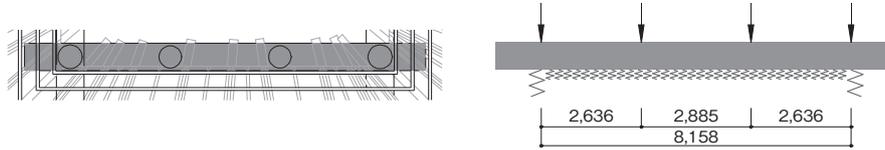
(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	263	263	263	263	263
木負	51	51	51	51	51
先端集中荷重 P	1.8	1.7	1.7	1.9	1.7
等分布荷重 w (自重含)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
五重以外集中荷重 w×3.0mとして		3.8	3.8	3.8	3.8
出寸法 a	1.91	2.116	2.116	2.108	2.411
丸桁位置での断面検定					
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	12.5	11.0	11.0	9.3	14.4
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	1.02	0.90	0.90	0.76	1.17
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK
柱盤位置での断面検定					
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	5.0	7.1	8.5	10.3
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.41	0.58	0.69	0.84
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	0.5	0.8	1.0	1.4
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.76	0.95	1.33
【参考】基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	OK	OK
【参考】たわみ					
弾性たわみ (合計)	37.0	42.0	41.0	31.0	50.0
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	74	84.0	82.0	62.0	100.0
たわみ角	1/26	1/25	1/26	1/34	1/24

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

b) 柱 盤

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

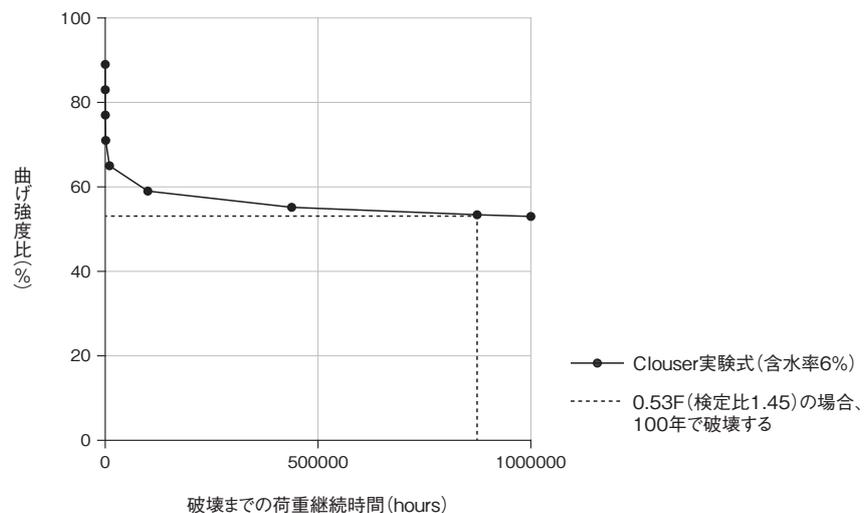


(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	470	580	620	730
柱盤の成 (mm)	240	240	320	315
断面検定				
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.2	3.7	3.9	5.3
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.21	0.35	0.37	0.50
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.4	0.5	0.6	0.7
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times Lfs$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.38	0.48	0.57	0.67
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

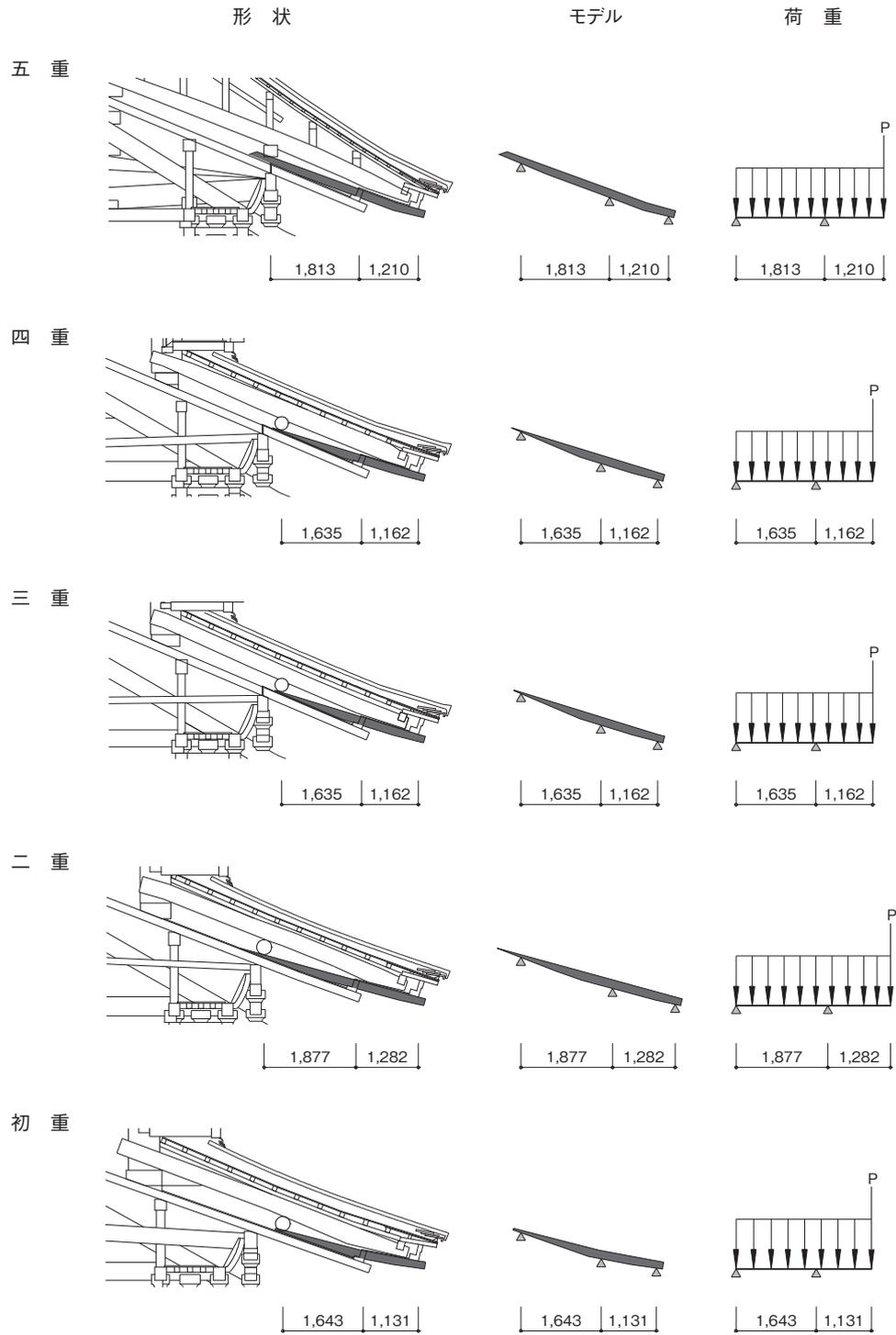
地垂木の長期曲げ検定比は1.00を超えて1.17に至る。一般に長期に生じる曲げ応力度が、長期許容応力度と短期許容応力度の中間値の場合、約50~100年で折れるとされている。彰国社「建築構造学大系22 木構造(昭和41年6月)」134頁に示されるClouser 実験式(含水率6%)をグラフにして示す。



破壊までの荷重継続時間と強度比

3-3 飛檐垂木の曲げ・せん断に関する検討

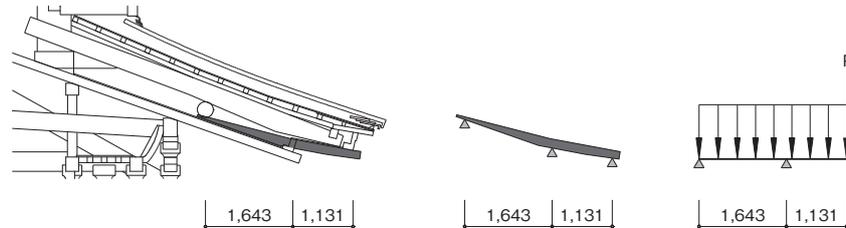
1) 検討用寸法一覧



## 2) 検討結果

- ・荷重条件：バタ葺き
- ・材料：無等級 ヒノキ\*<sup>1</sup>
- ・釣り合いの検討と断面検定を表計算にておこなう

\*<sup>1</sup>：曲げ基準強度は1.2倍していない。長期せん断許容応力度は1.5倍していない。



(単位：kN,m)

層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820
飛檐垂木の幅 (mm)	122	122	122	122	122
飛檐垂木の成 (mm)	166	166	166	166	166
飛檐垂木のピッチ (mm)	263	263	263	263	263
軒付瓦	185	185	185	185	185
茅負	48	48	48	48	48
先端集中荷重 P	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
等分布荷重 w (自重含)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
出寸法 a	1.21	1.162	1.162	1.282	1.131
引込寸法 b	1.812	1.635	1.635	1.877	1.643
釣り合いの検討	0.59	0.67	0.67	0.61	0.63
	OK	OK	OK	OK	OK
断面検定					
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	20252	20252	20252	20252	20252
断面係数 Z (mm <sup>3</sup> )	560305	560305	560305	560305	560305
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	46505343	46505343	46505343	46505343	46505343
M	1.18	1.10	1.10	1.31	1.05
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.11	1.96	1.96	2.33	1.87
Fb (N/mm <sup>2</sup> )	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
並列材1.15*Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
曲げ検定比	0.21	0.19	0.19	0.23	0.18
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
Q	1.7	1.7	1.7	1.8	1.6
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
せん断検定比	0.18	0.18	0.18	0.19	0.17
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-
	OK	OK	OK	OK	OK
【参考】 たわみ					
弾性たわみ (先端集中荷重)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
弾性たわみ (等分布荷重)	0.8	0.7	0.7	1.0	0.6
弾性たわみ (合計)	1.1	1.0	1.0	1.4	0.9
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	2.3	2.0	2.0	2.8	1.8
たわみ角	1/258	1/343	1/343	1/215	1/358

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 3-4 地隅木・飛檐隅木の曲げ・せん断に関する検討

## 1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。飛檐隅木に長期に生じる応力は、手計算による。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

## 3) 検討結果

## 【地隅木】

(単位：kN,m)

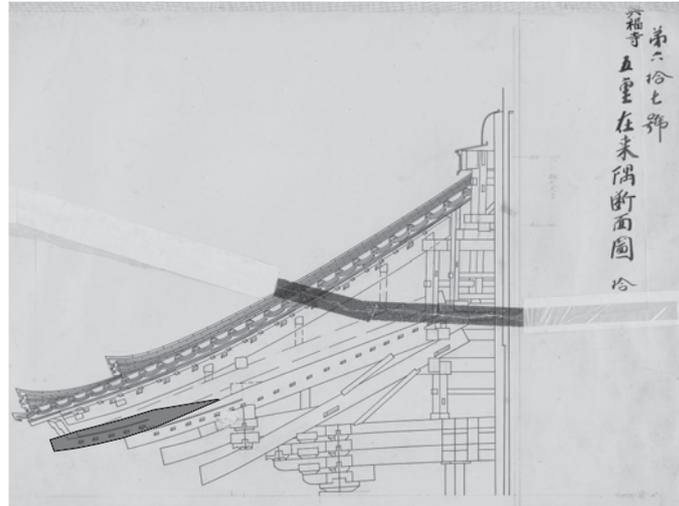
層名称	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	270	270	270	270	270
地隅木の成 (mm)	500	500	500	500	500
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	135000	135000	135000	135000	135000
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	11250000	11250000	11250000	11250000	11250000
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000	2812500000
地隅木の断面検定					
M	23.0	45.0	78.0	141.0	182.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.04	4.00	6.93	12.53	16.18
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.19	0.37	0.65	1.17	1.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	0.50
Q	13.0	172.0	296.0	422.0	605.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.14	1.91	3.29	4.69	6.72
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.14	1.82	3.13	4.47	6.40
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.91	1.57	2.23	3.20
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45および基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

【飛檐隅木】

a) 基本事項

- ・ 地隅木からの出寸法は、最大1.6mである。
- ・ 出寸法の最も大きい初重で検討し、その他の層は検討を省略する。



五重（検討対象部材例）\*1

\*1：「興福寺五重在来隅断面図」奈良県所蔵・提供 にもとづき作成。

b) 検討結果

飛檐隅木(ヒノキ 272 mm×350 mm 成は推定)

断面性能  $A = 952 \times 10^2 \text{ mm}^2$ 、 $Z = 5553 \times 10^3 \text{ mm}^3$ 、 $I = 97183 \times 10^4 \text{ mm}^4$

ヒノキ\*2  $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$ 、 $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$ 、 $E = 8820 \text{ N/mm}^2$

\*2：曲げ基準強度は 1.2 倍していない。長期せん断許容応力度は 1.5 倍していない。

断面検定(断面積・断面係数は0.8倍とする)

屋根荷重  $w = 5700 \text{ N/m}^2$ 、負担幅最大2.0 m、降棟 1800 N/m

→ 等分布荷重  $5.7 \times 2.0 + 1.8 = 13.2 \text{ kN/m}$

スパン1.6 mの片持ち梁として検討

設計用  $M_L = 13.2 \times 1.6^2 / 2 = 16.8 \text{ kNm}$

$\sigma = M_L / Z = 16.8 \times 10^6 / (0.8 \times 5553 \times 10^3) = 3.8 \text{ N/mm}^2$

$\sigma / f_b = 3.8 / (26.7 \times 1/3) = 0.42 < 1.0 \text{ OK}$

設計用  $Q_L = 13.2 \times 1.6 = 21.1 \text{ kN}$

$\tau = 1.5 Q_L / A = 1.5 \times 21.1 \times 10^3 / (0.8 \times 952 \times 10^2) = 0.41 \text{ N/mm}^2$

$\tau / f_s = 0.41 / (2.1 \times 1/3) = 0.59 < 1.0 \text{ OK}$

長期弾性たわみ

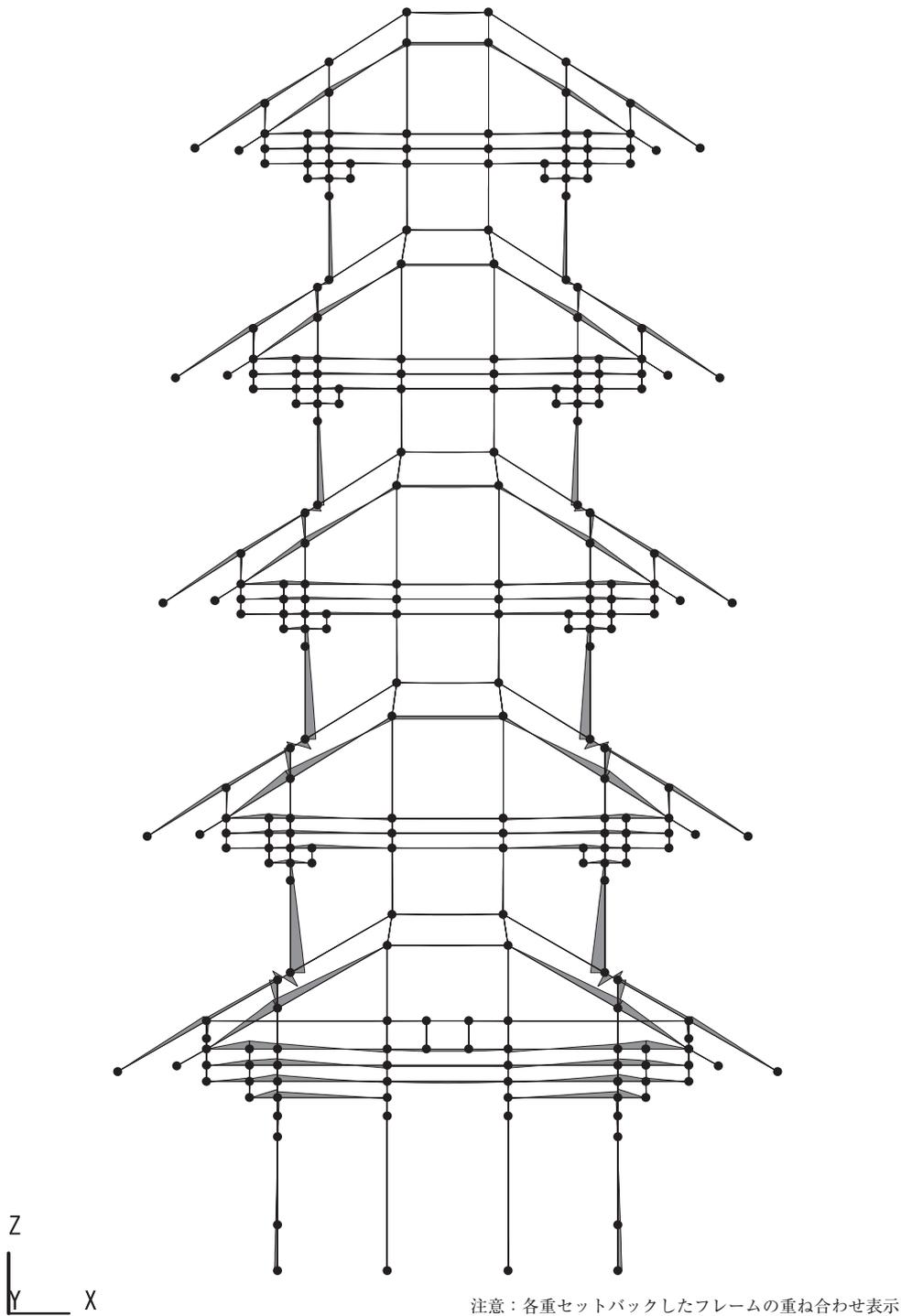
$$\delta = \frac{w l^4}{8 E I} = \frac{13.2 \times 1600^4}{8 \times 8820 \times 97183 \times 10^4} = 1.26 \text{ mm} \rightarrow 1/1269$$



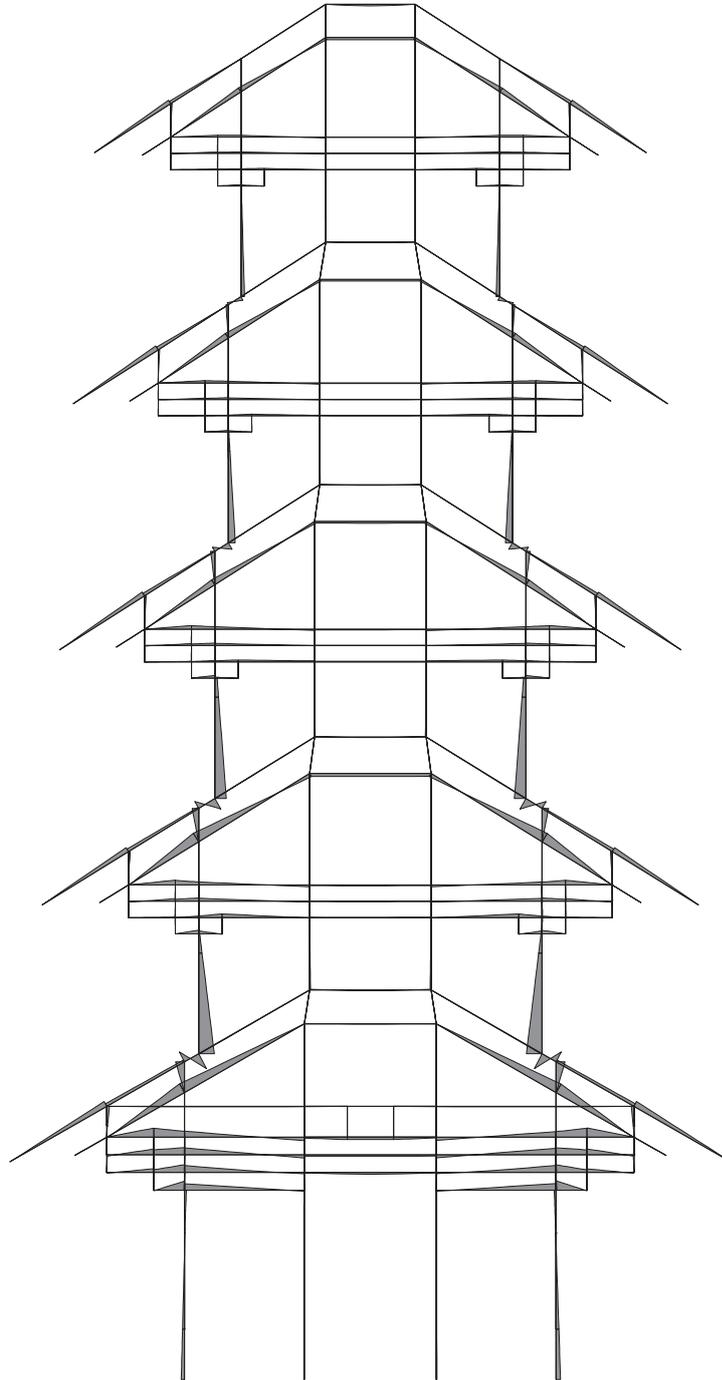
## 4 応力図

### 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図：長期)



平全体(曲げモーメント図：長期)

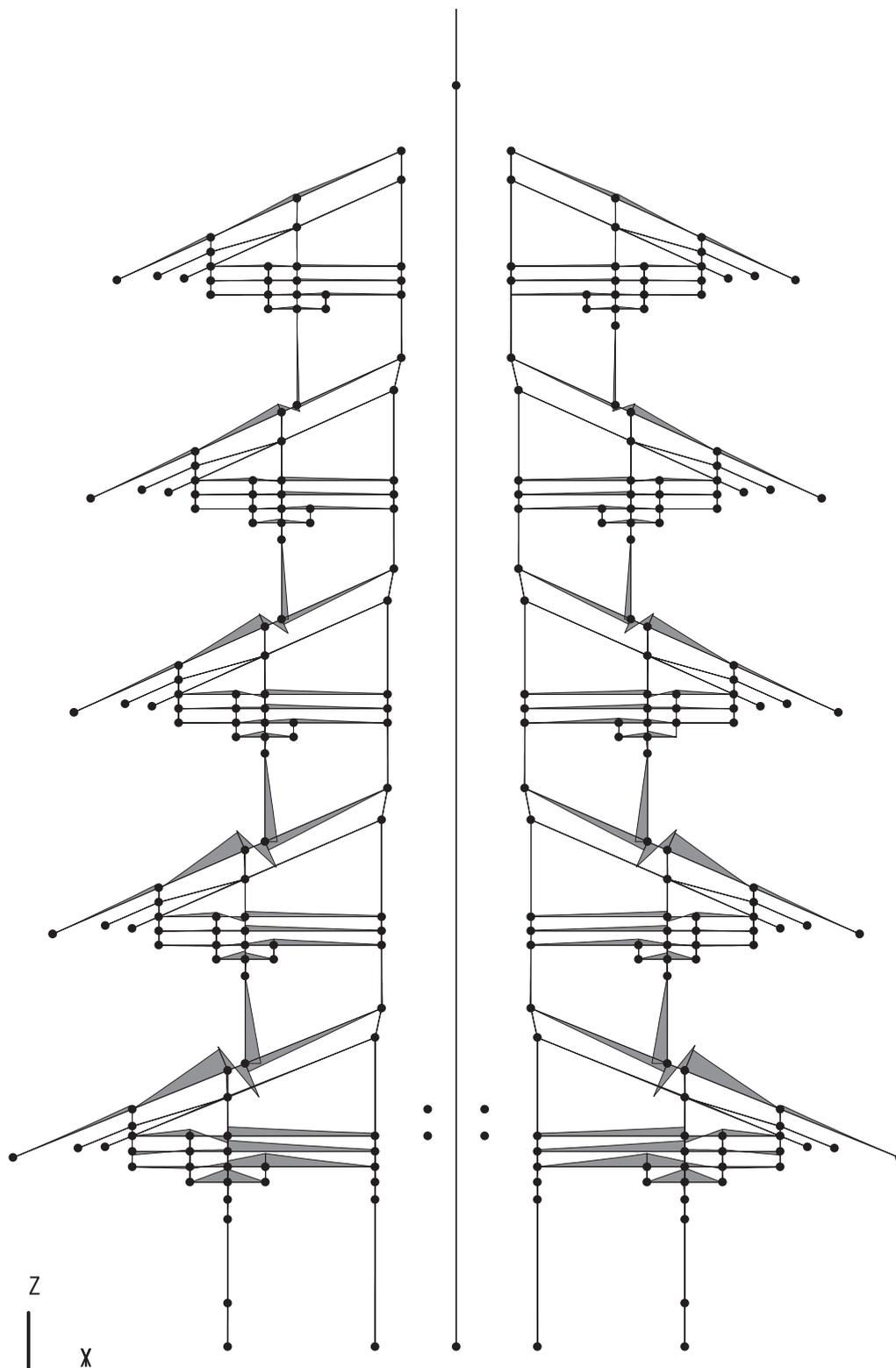


Z  
Y X

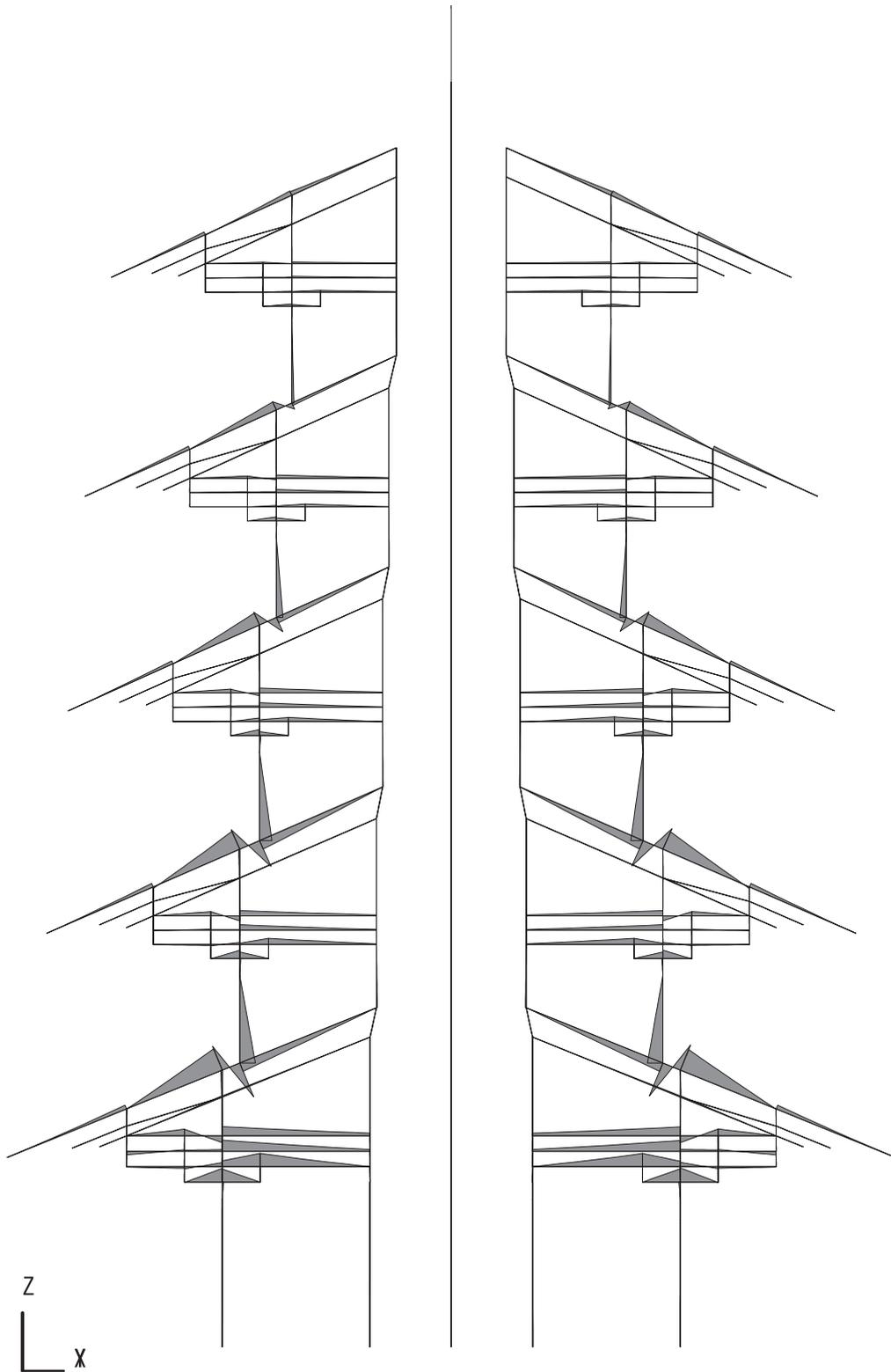
注意：各重セットバックしたフレームの重ね合わせ表示

4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図：長期)

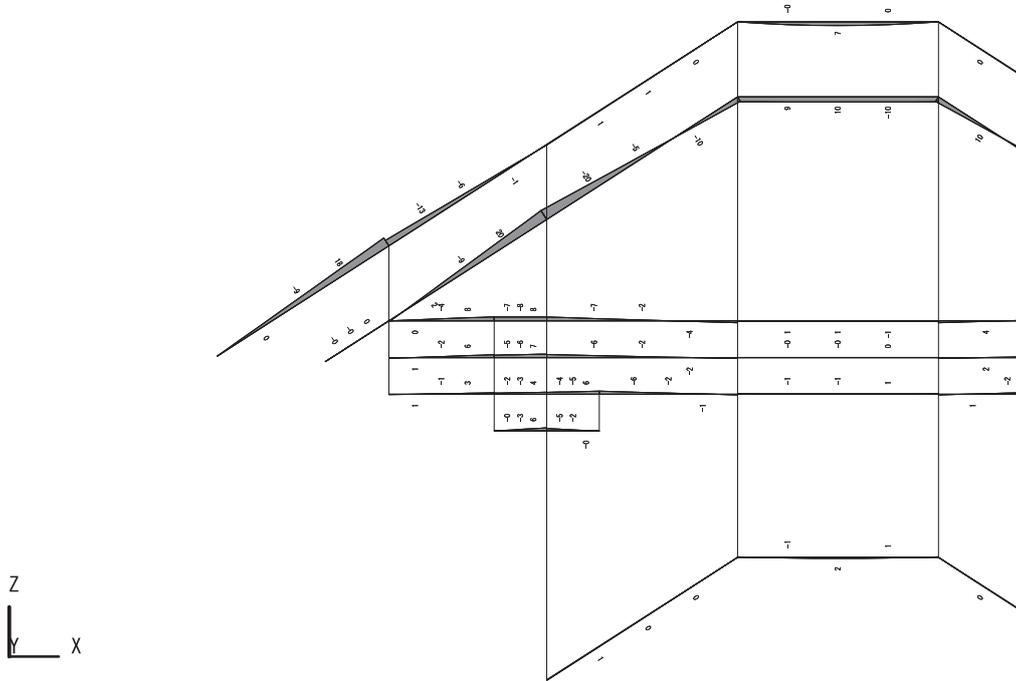


45° (曲げモーメント図：長期)

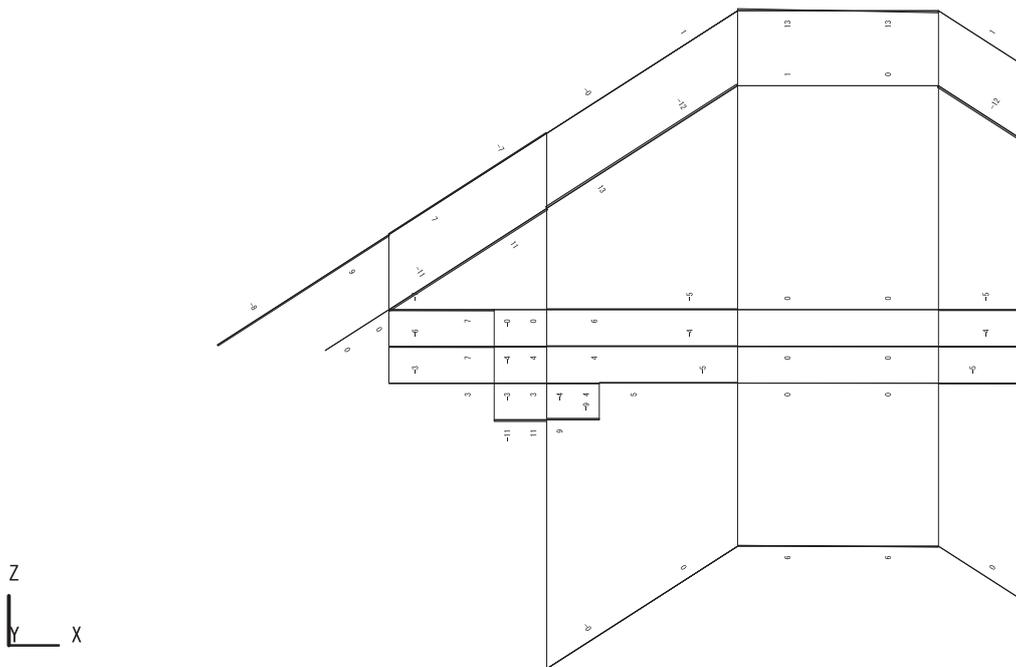


4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

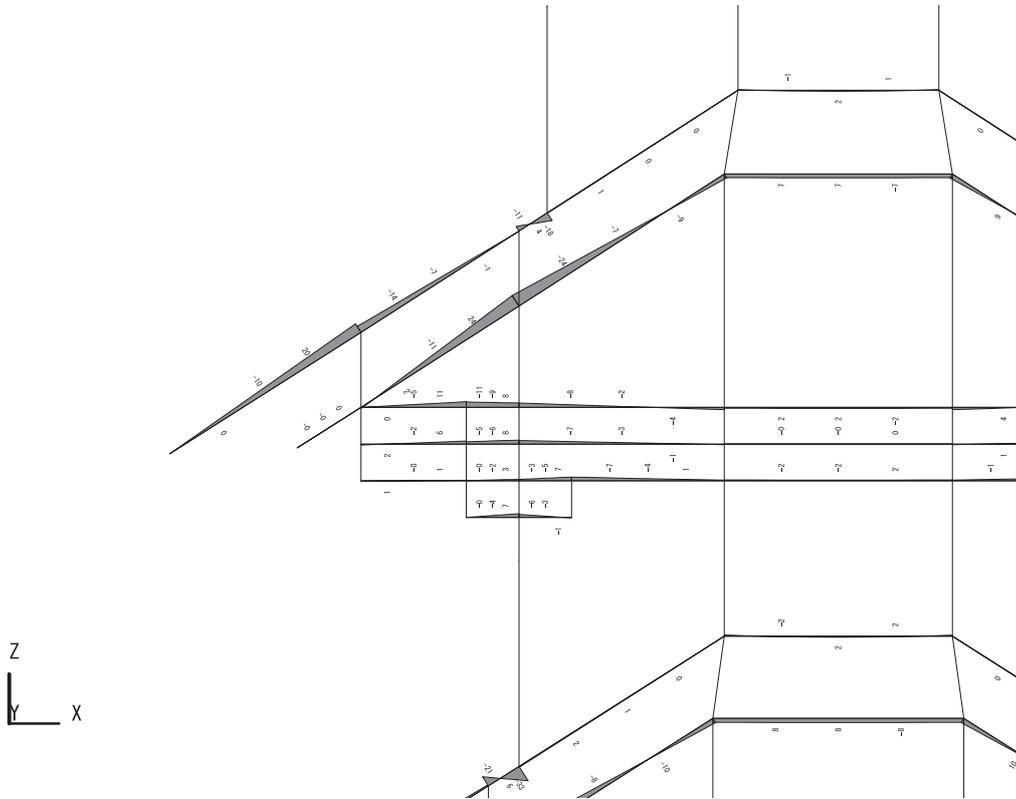
Y2-5 (応力図：長期) 五重尾垂木（平）および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



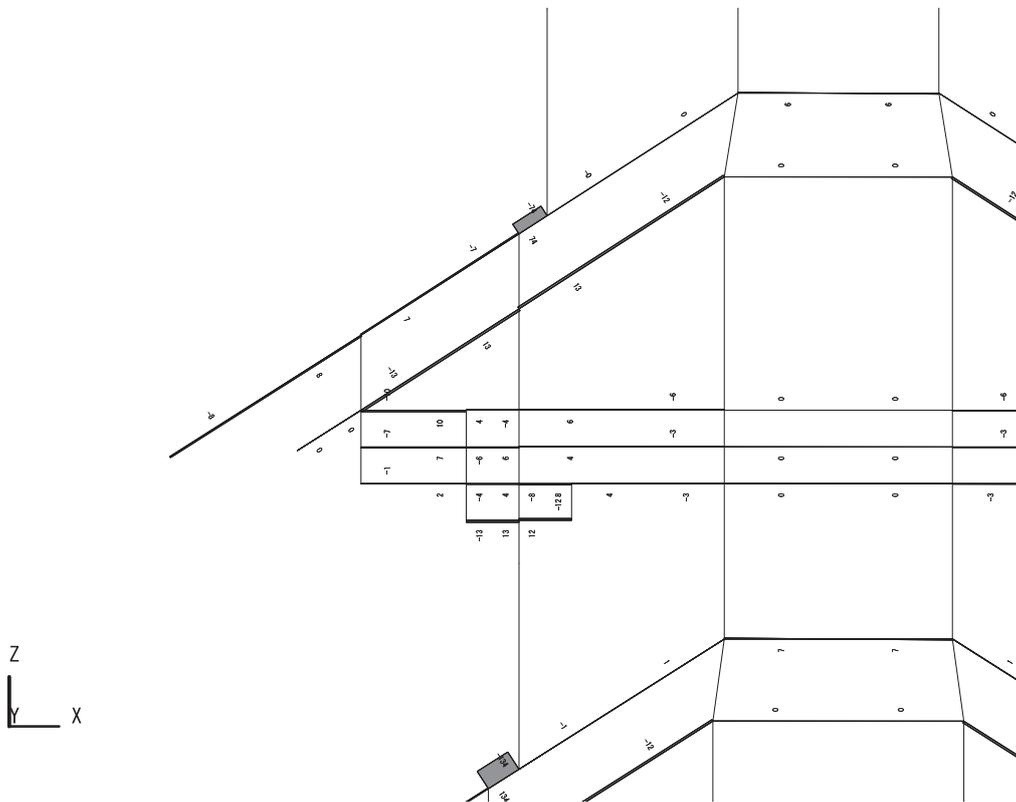
Y2-5 (応力図：長期) 五重尾垂木（平）および肘木 せん断力図 単位：kN



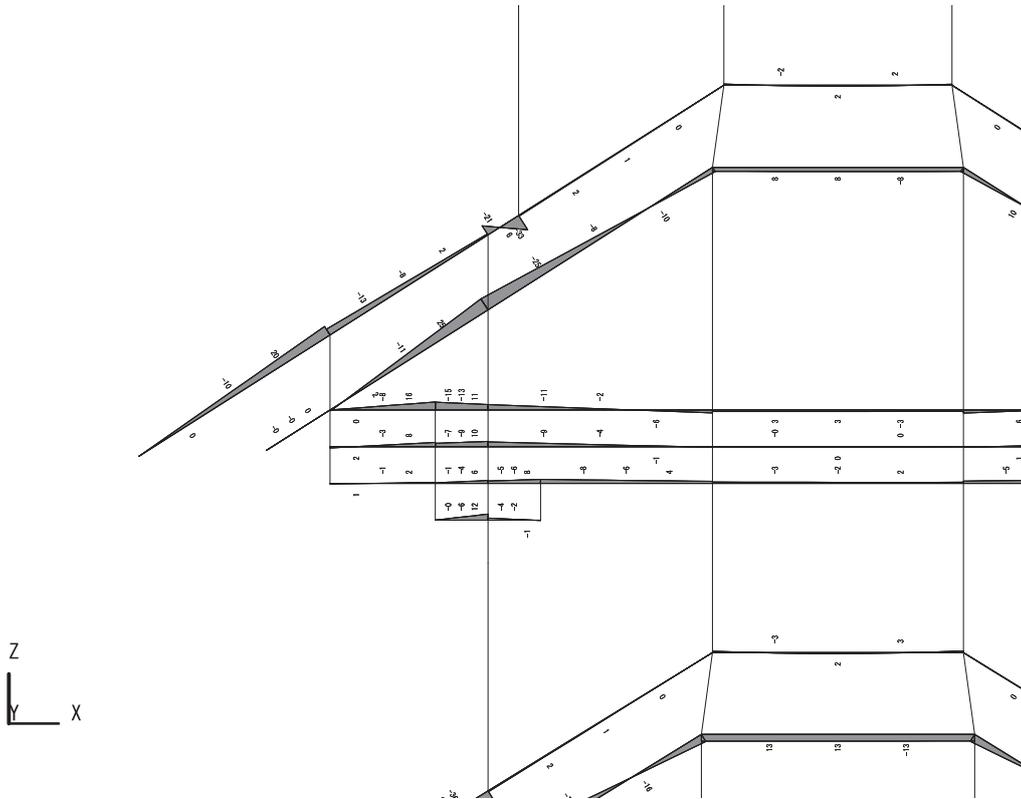
Y2-4 (応力図：長期) 四重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



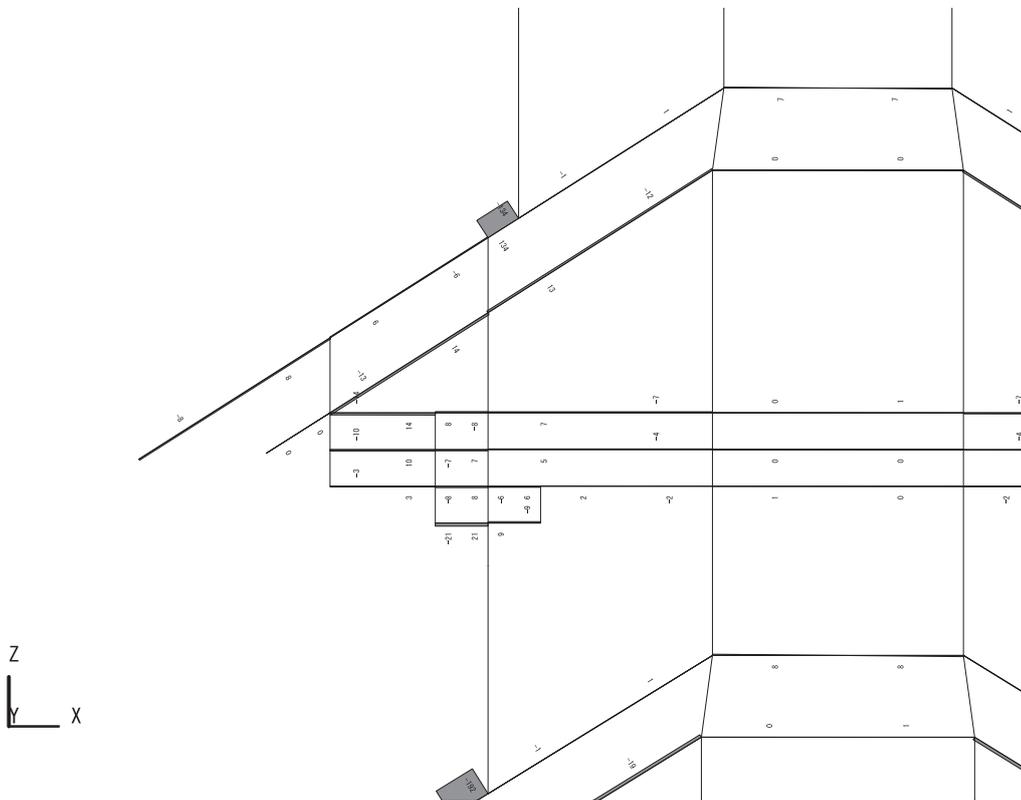
Y2-4 (応力図：長期) 四重尾垂木 (平) および肘木 セン断力図 単位：kN



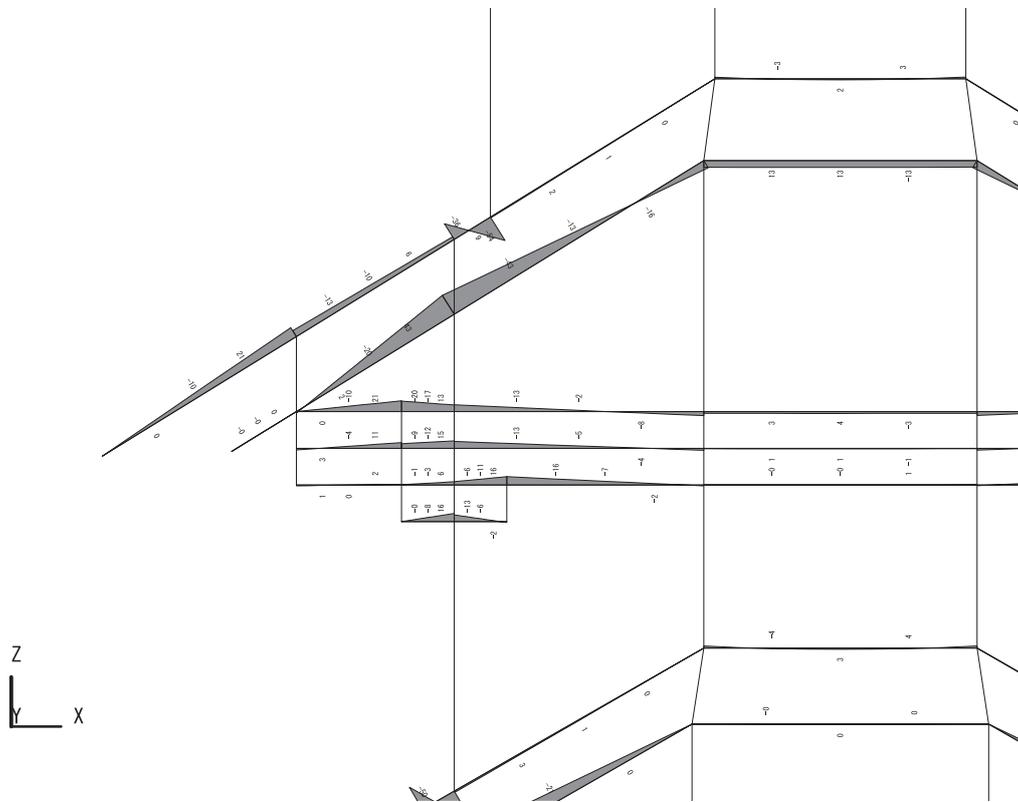
Y2-3（応力図：長期） 三重尾垂木（平） および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



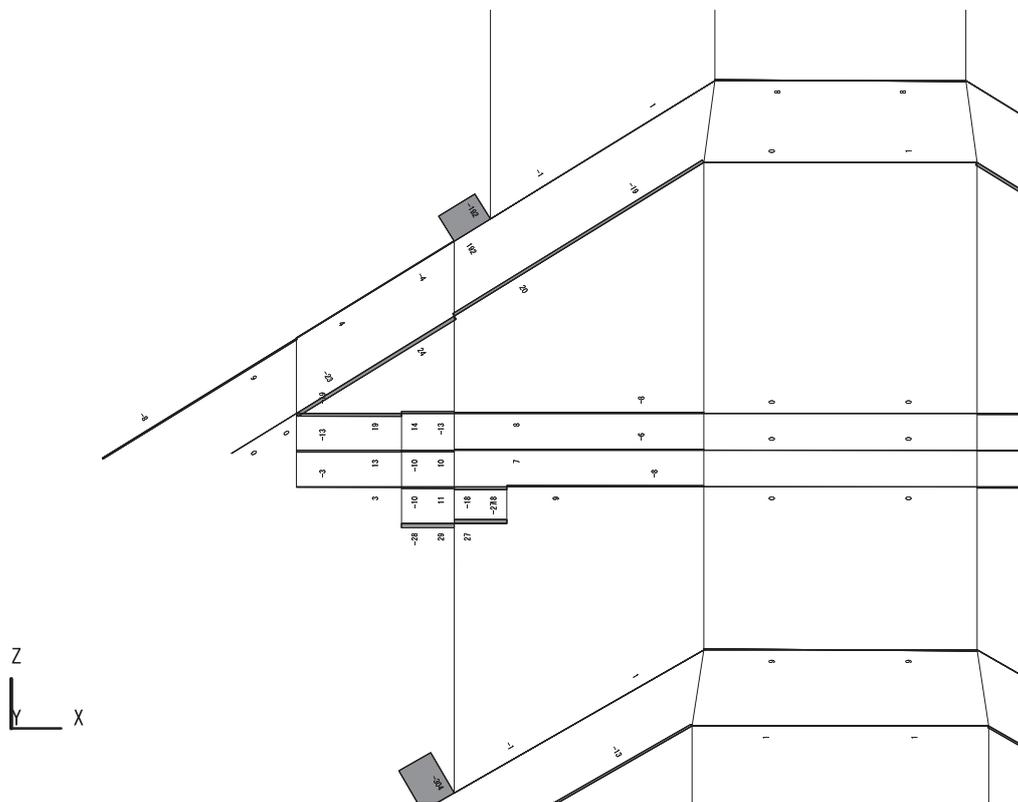
Y2-3（応力図：長期） 三重尾垂木（平） および肘木 せん断力図 単位：kN



Y2-2 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



Y2-2 (応力図：長期) 二重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位：kN







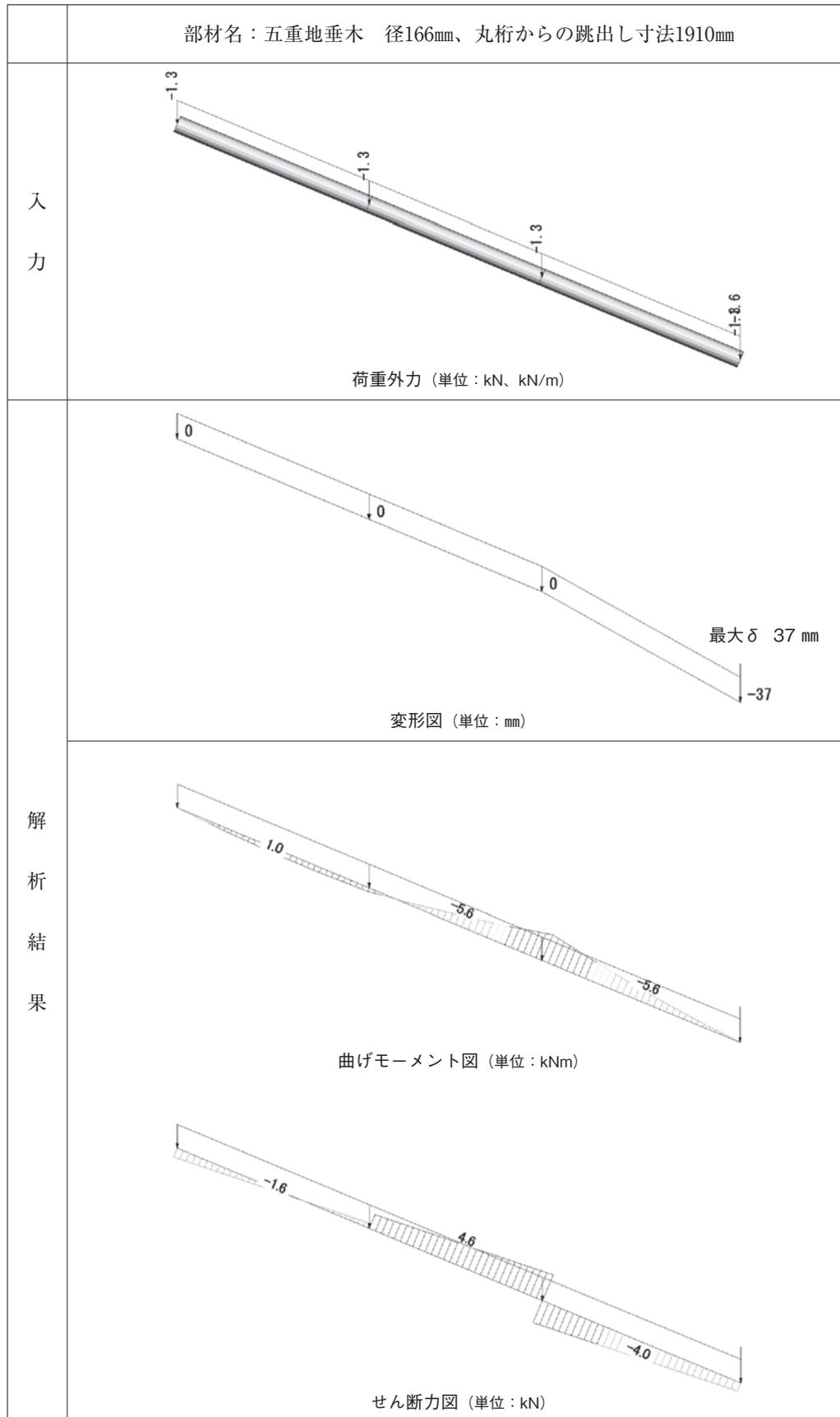


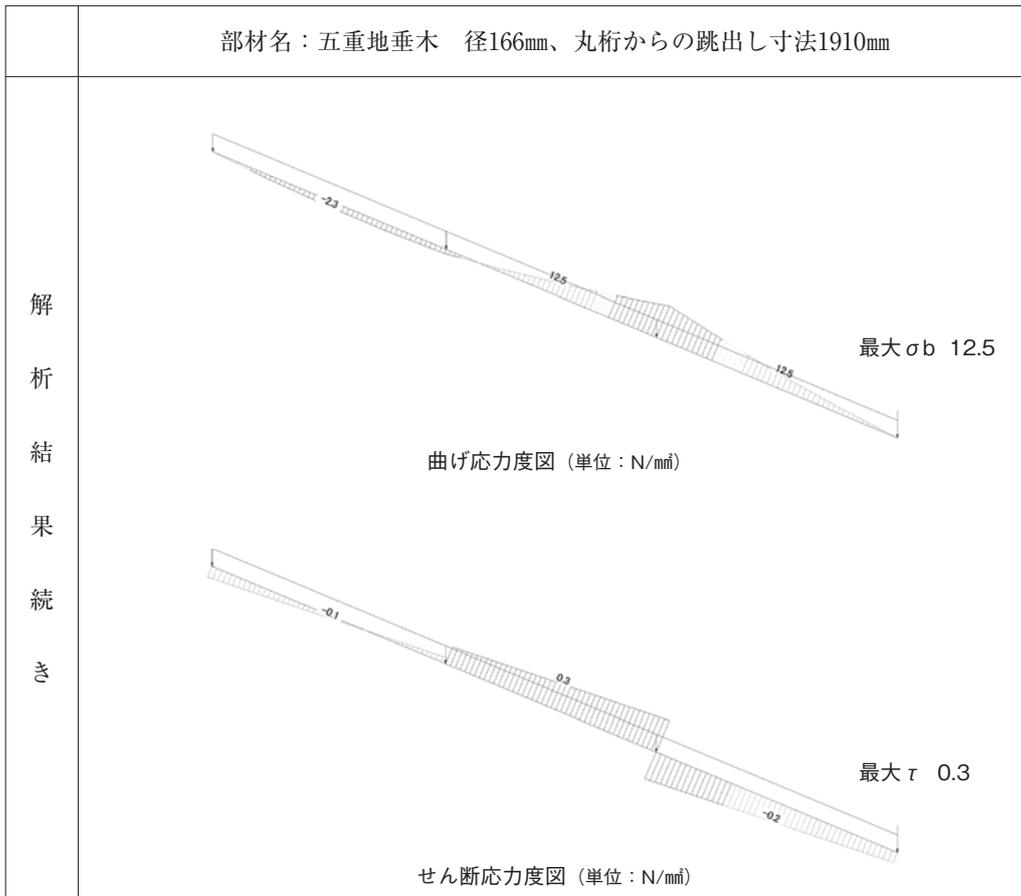


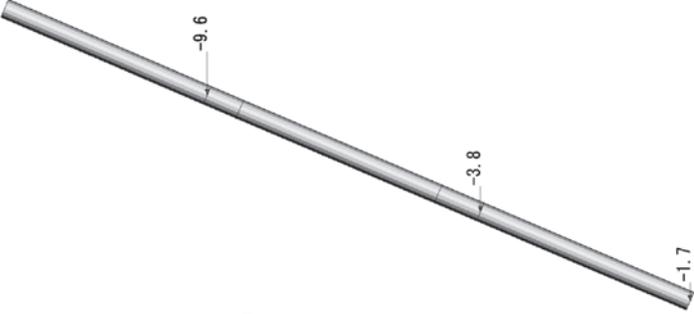
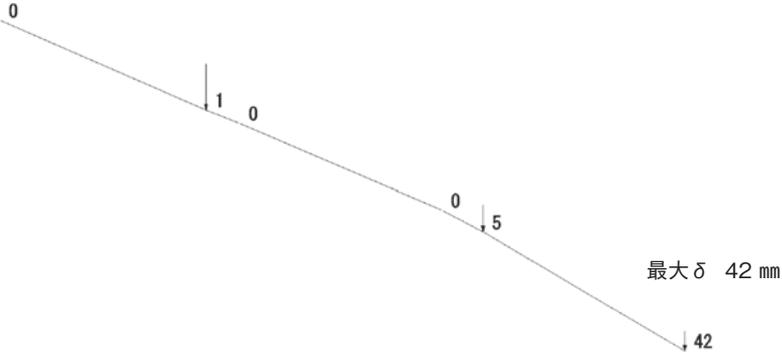
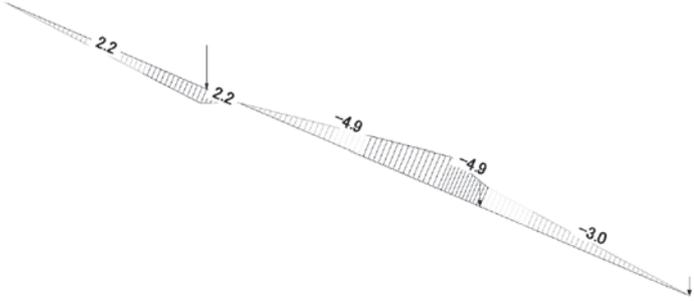
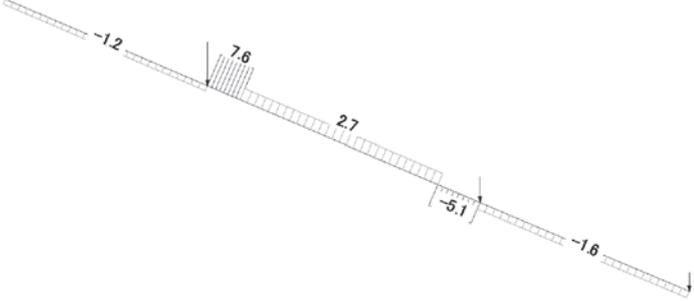


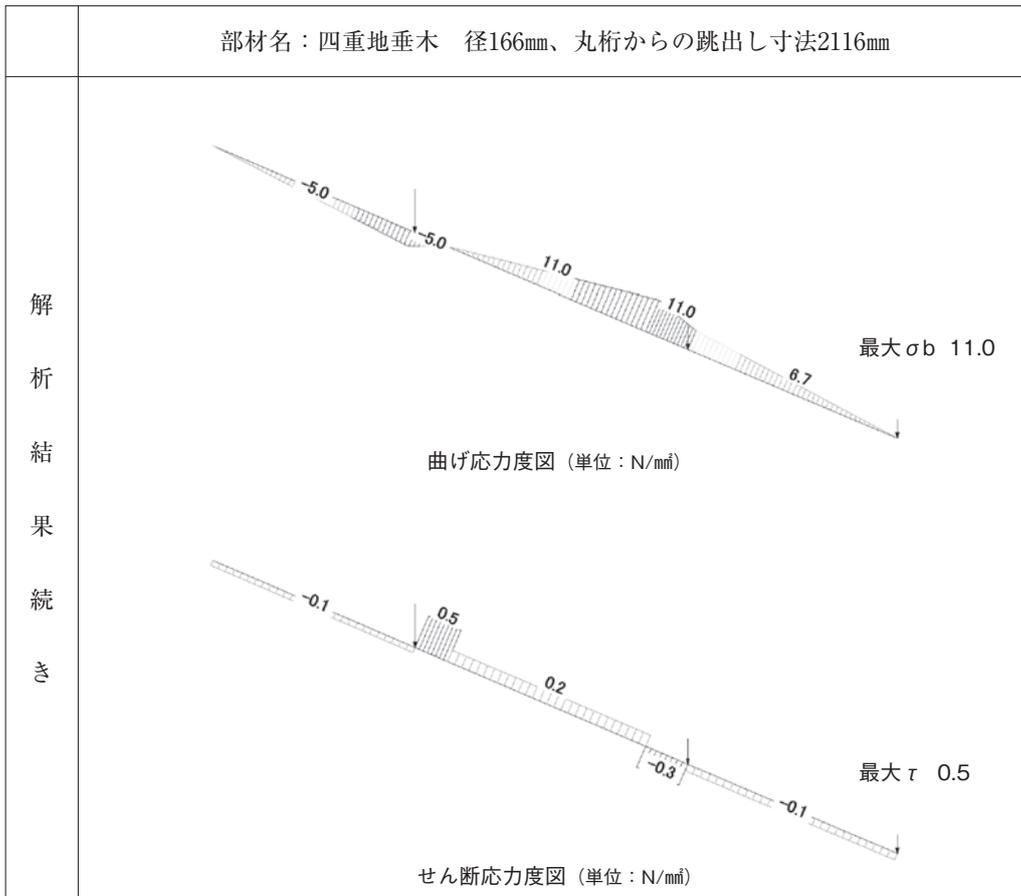


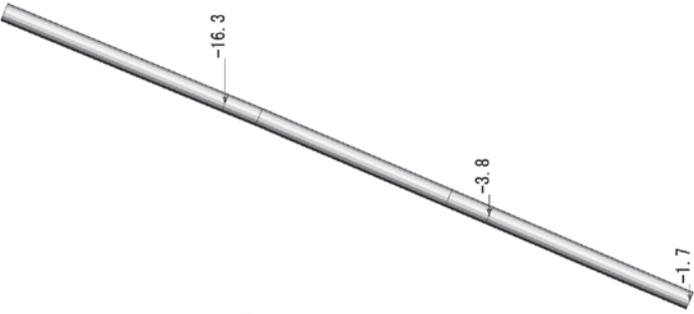
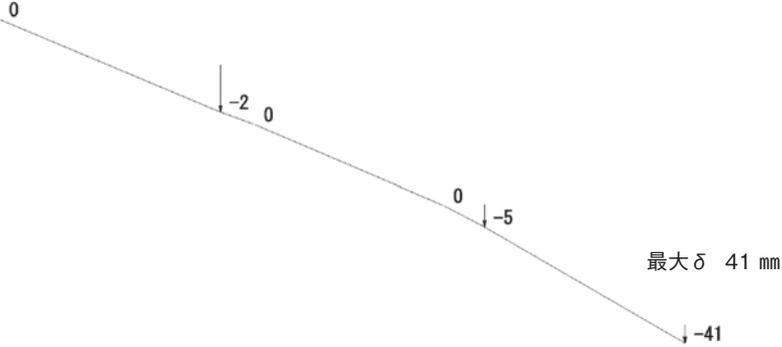
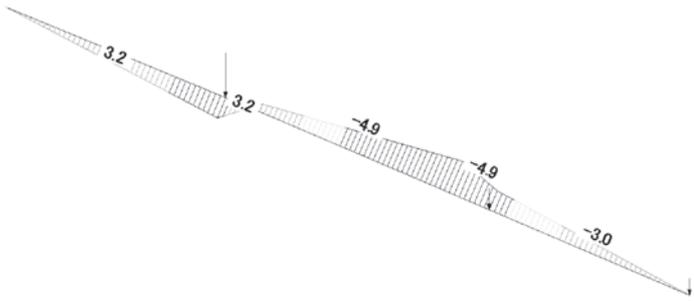
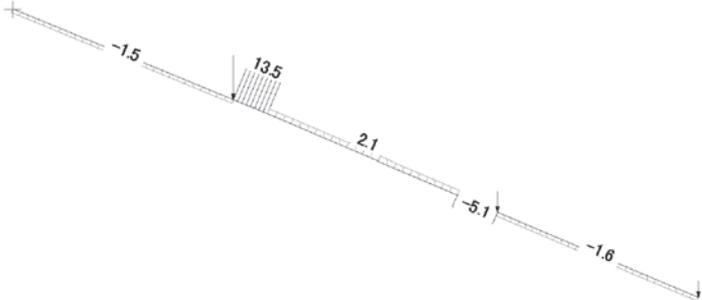
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

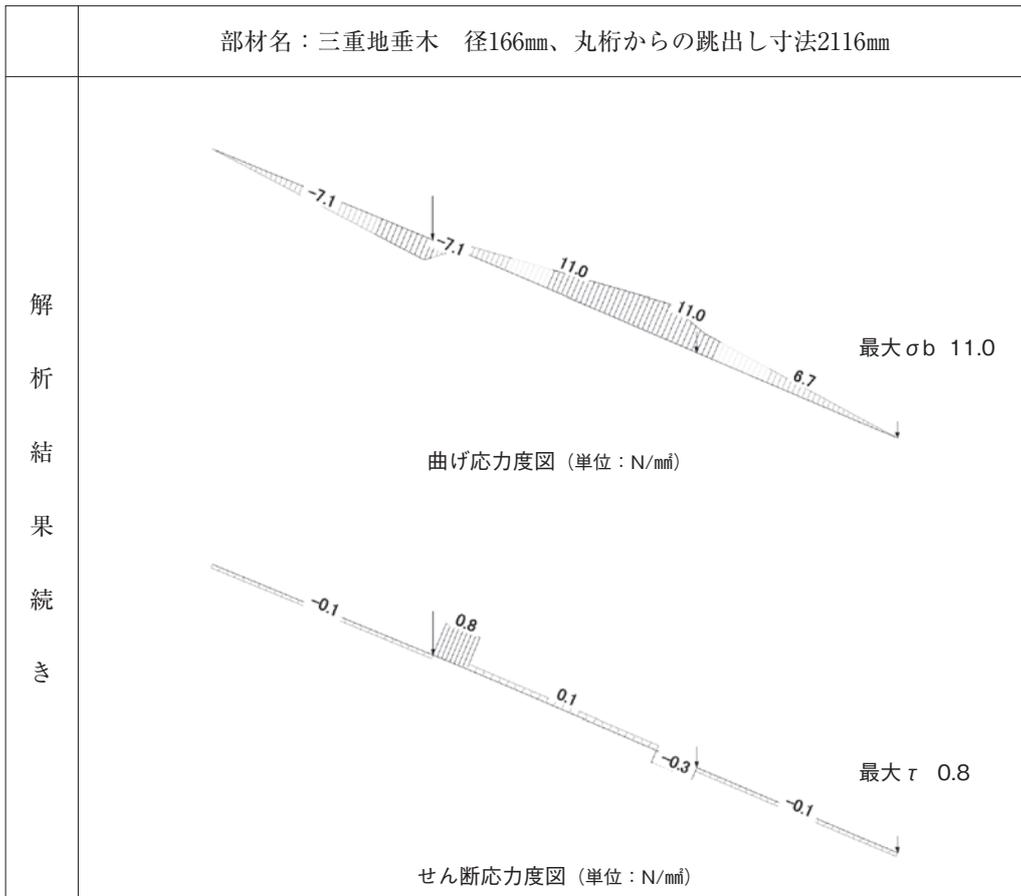


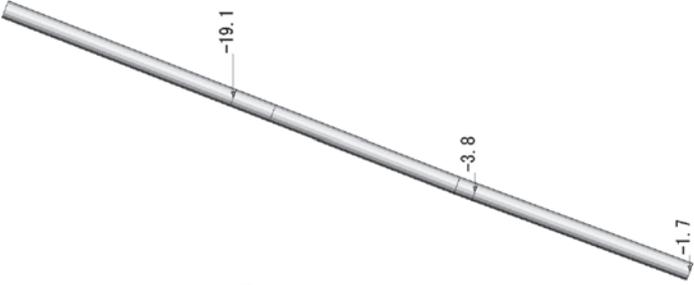
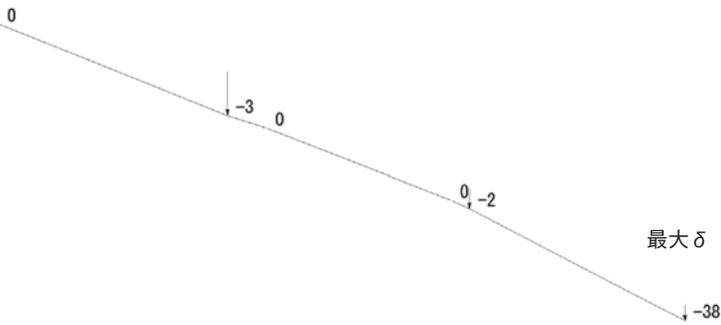
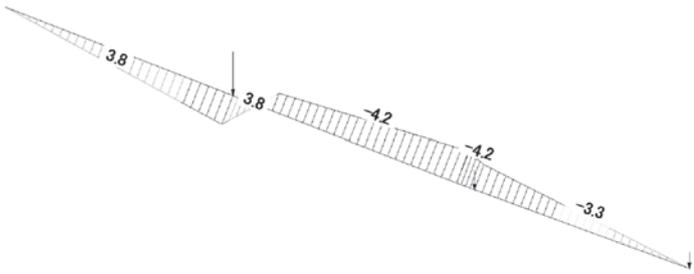
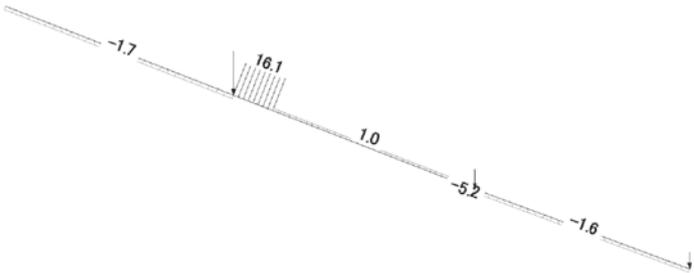


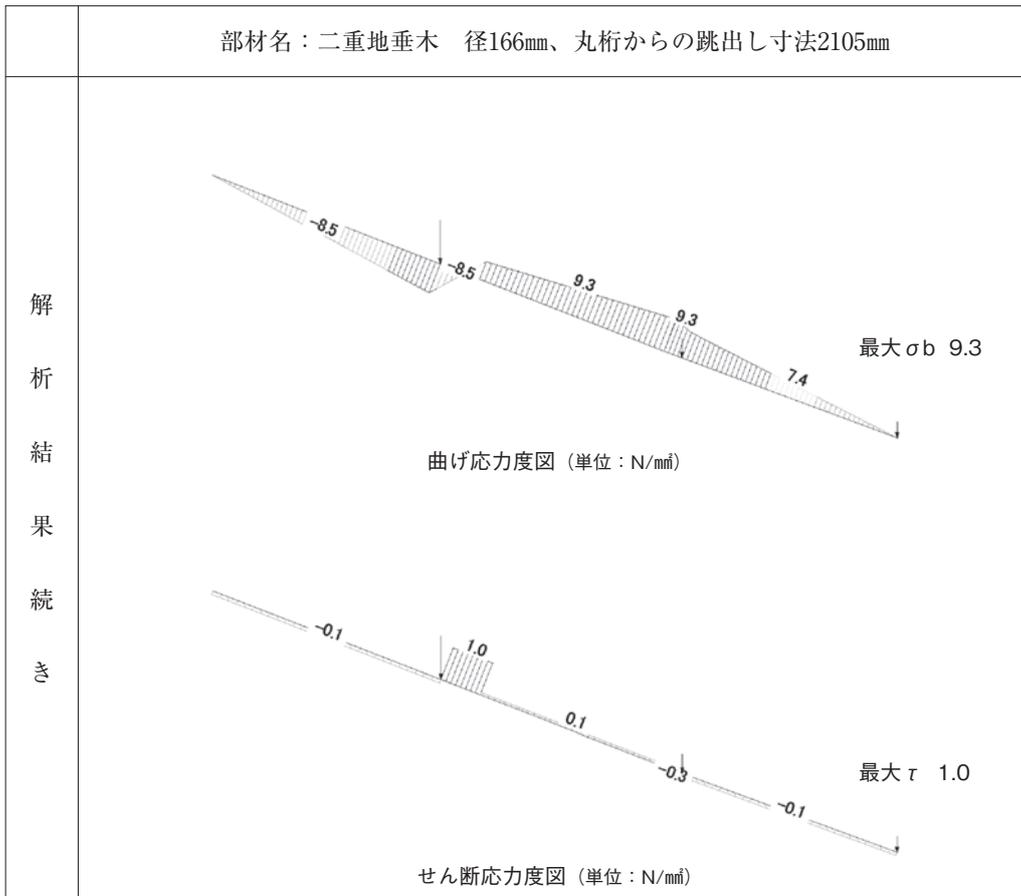
	<p>部材名：四重地垂木 径166mm、丸桁からの跳出し寸法2116mm</p>
<p>入力</p>	 <p>荷重外力 (単位：kN、kN/m)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>

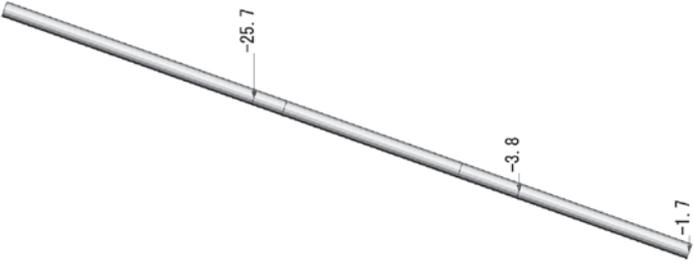
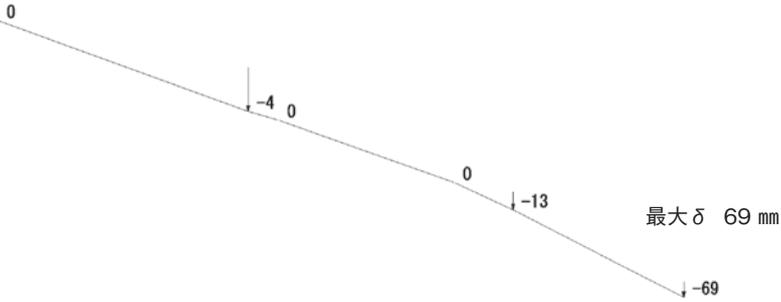
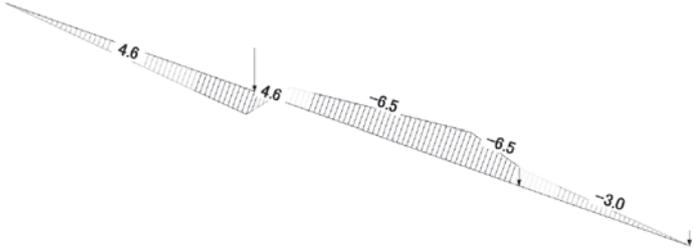
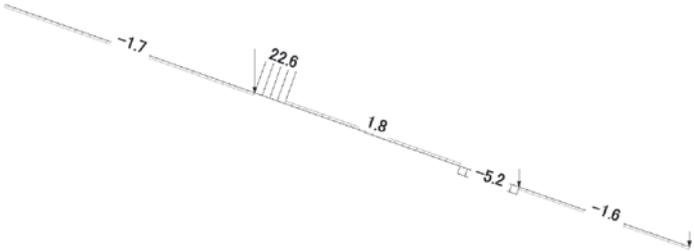


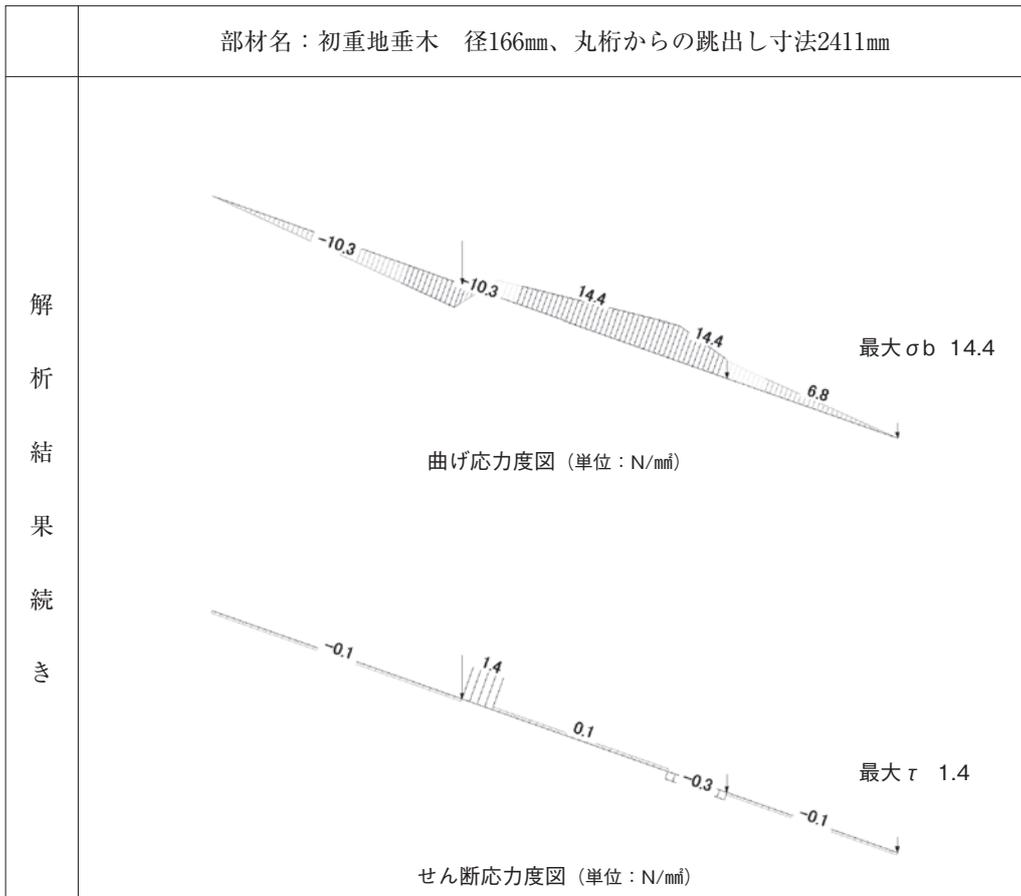
	<p>部材名：三重地垂木 径166mm、丸桁からの跳出し寸法2116mm</p>
<p>入 力</p>	 <p>荷重外力 (単位：kN、kN/m)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解 析 結 果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>



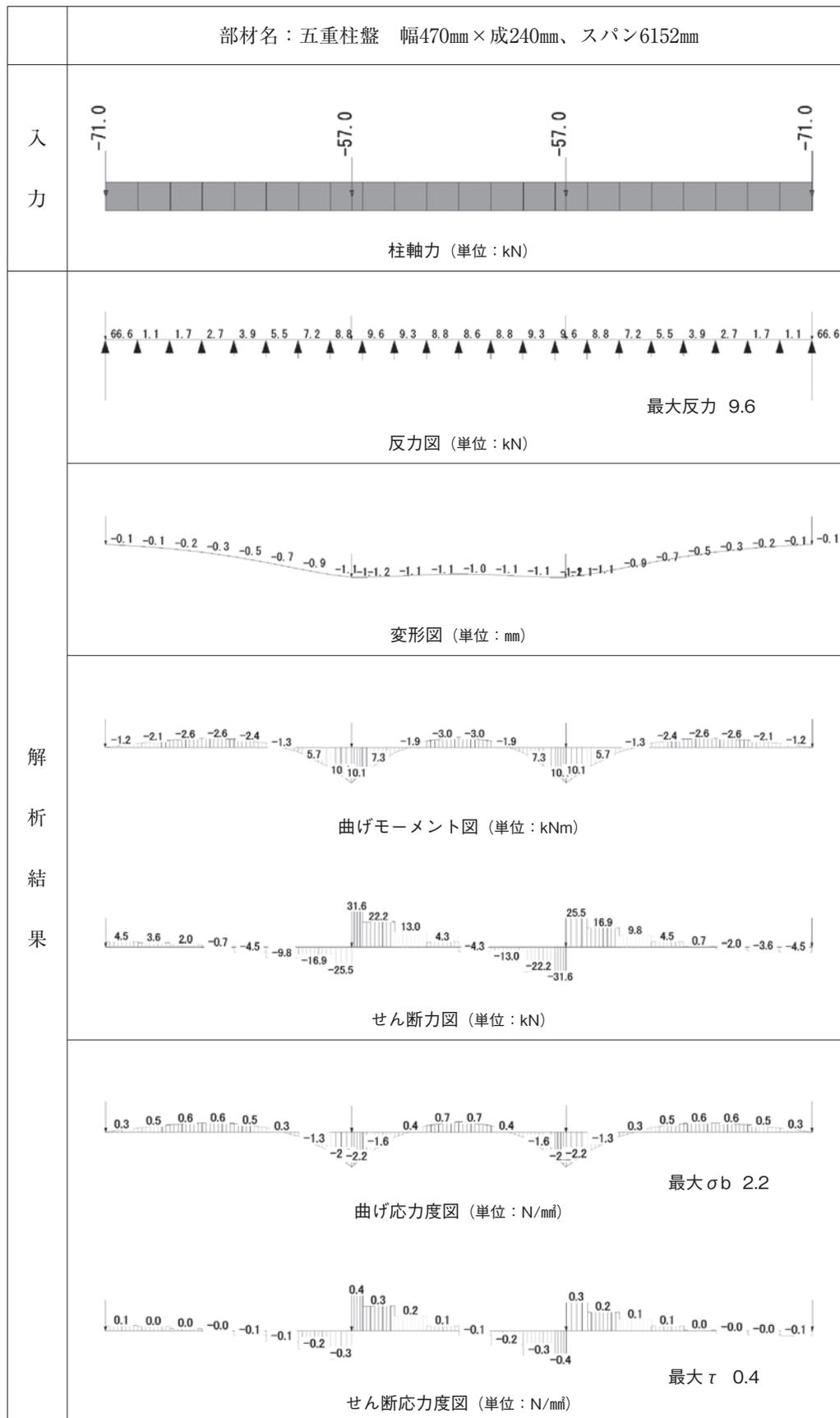
	<p>部材名：二重地垂木 径166mm、丸桁からの跳出し寸法2105mm</p>
<p>入 力</p>	 <p>荷重外力 (単位：kN、kN/m)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解 析 結 果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>

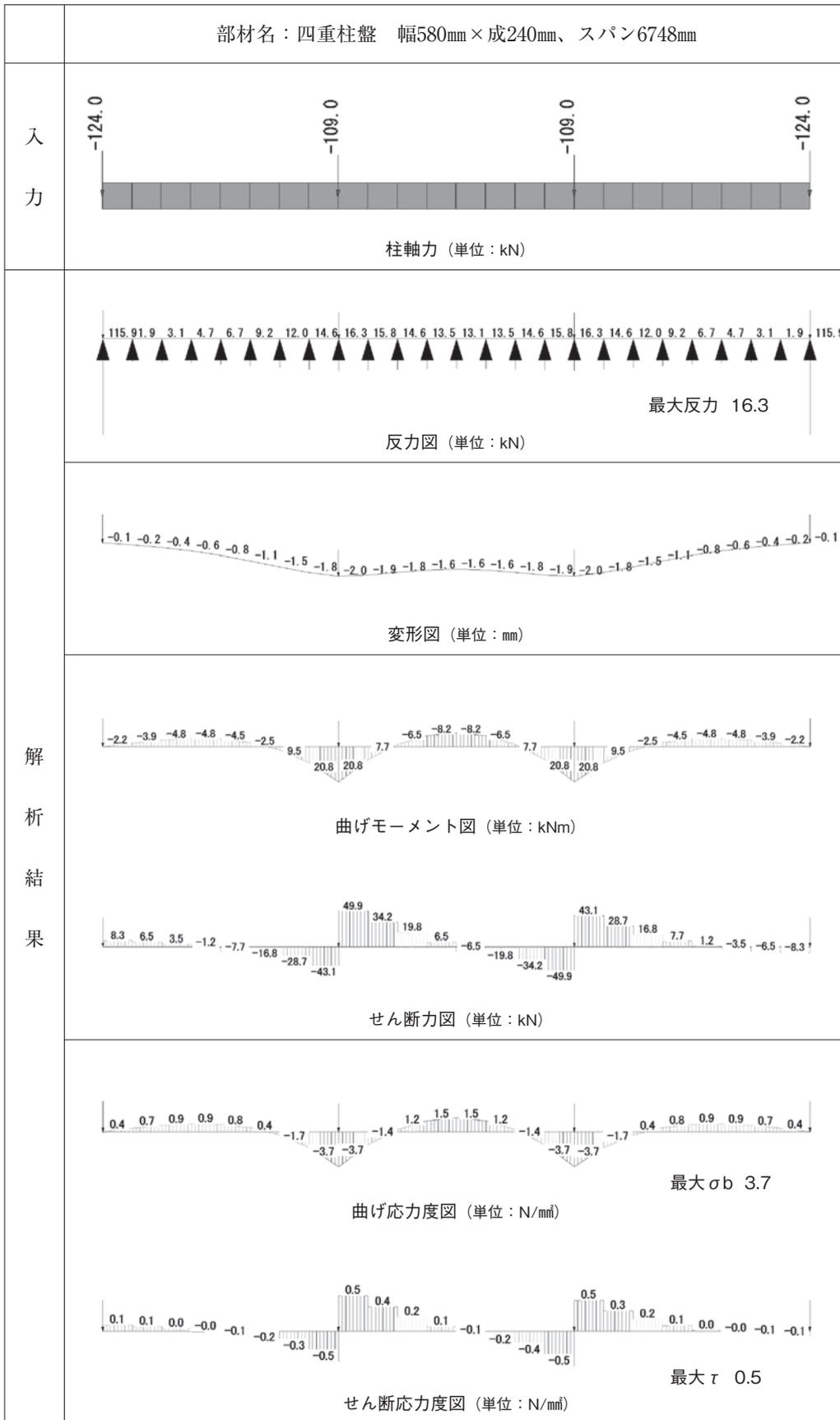


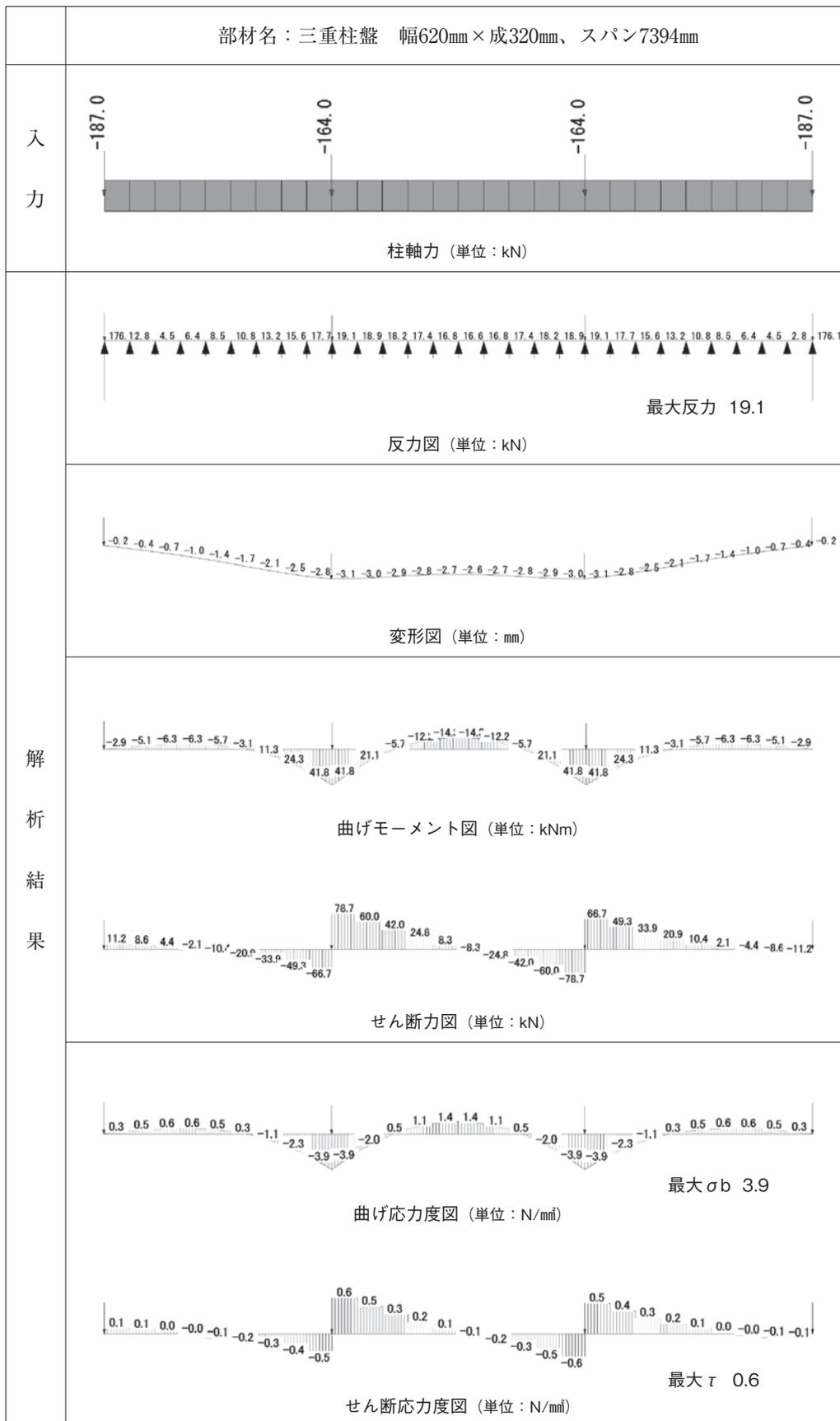
	<p>部材名：初重地垂木 径166mm、丸桁からの跳出し寸法2411mm</p>
<p>入 力</p>	 <p>荷重外力（単位：kN、kN/m）</p>
	 <p>変形図（単位：mm）</p>
<p>解 析 結 果</p>	 <p>曲げモーメント図（単位：kNm）</p>  <p>せん断力図（単位：kN）</p>

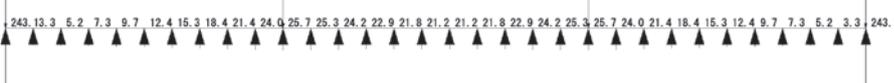
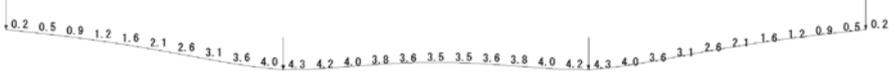
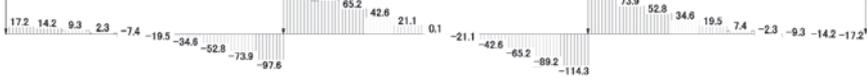
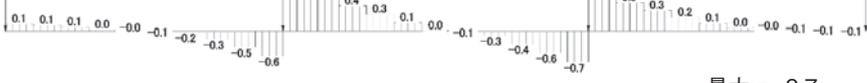


添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形







	<p>部材名：二重柱盤 幅730mm×成315mm、スパン8158mm</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
	 <p>反力図 (単位：kN)</p> <p>最大反力 25.7</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p> <p>最大σb 5.3</p>  <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p> <p>最大τ 0.7</p>



# 天平塔 内部柱検討案

- 1 軸部の検討
  - 1-1 柱の圧縮に関する検討
  - 1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断に関する検討
  
- 2 組物の検討
  - 2-1 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討
  - 2-2 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討
  
- 3 軒の検討
  - 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討
  - 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討
  - 3-3 地隅木の曲げ・せん断に関する検討
  - 3-4 六重 四の肘木上束踏の曲げ・せん断に関する検討
  
- 4 応力図
  - 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)
  - 4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)
  - 4-3 平の長期に生じる応力図(各重)
  - 4-4 隅行きの長期に生じる応力図(各重)

添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

## 1 軸部の検討

### 1-1 柱の圧縮に関する検討

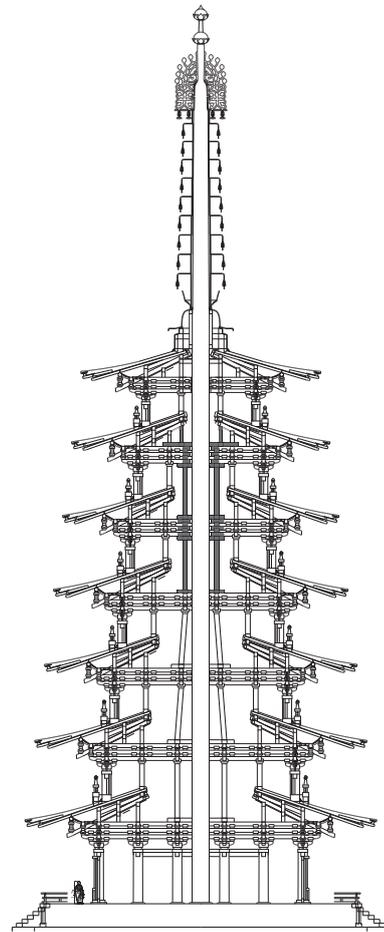
#### 1) 基本事項

各重の柱について、長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値を一覧で示す。すべての柱において、検定比は1.00以下に収まっている。

長期に生じる軸力に対する長期圧縮耐力の検定比の最大値一覧

層	側柱	入側柱	四天柱 (内部柱)
七重	0.07	なし	0.19
六重	0.05	0.17	(0.58)
五重	0.10	0.21	(0.75)
四重	0.10	0.37	0.79
三重	0.11	0.68	0.81
二重	0.13	0.90	0.84
初重	0.18	0.34	0.25

なお、圧縮の強度比と荷重継続時間の関係は、曲げとほぼ同じとされており、許容値は1.45となる。天平塔の柱は、100年程度は保ち得ると考えられる。



網掛けは、復元原案と異なる部分を示す。

#### 2) 共通事項

- ・樹種 ヒノキ
- ・圧縮基準強度  $F_c$  20.7 N/mm<sup>2</sup>（告示 第1452号 第五号に示される無等級材の数値）
- ・長期に生じる力に対する圧縮許容応力度  $1.1 \times F_c / 3 = 7.6$  N/mm<sup>2</sup>  
（建築基準法施行令第89条に示される数値）
- ・長期圧縮耐力算出用の柱の有効断面は、全断面積とする。

各重、柱ごとの軸力と検定比の詳細は、次項以下に示す。

3) 各重ごとの検討結果

【初重柱】

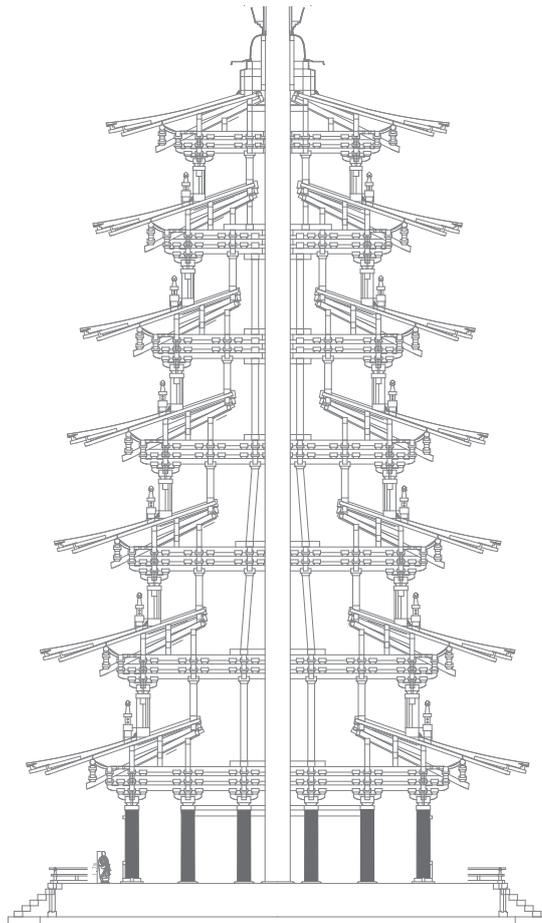
側柱、入側柱、四天柱とも

寸法  $\phi 708$  mm、全断面積  $= 708^2 \pi / 4 = 393692 \text{ mm}^2$

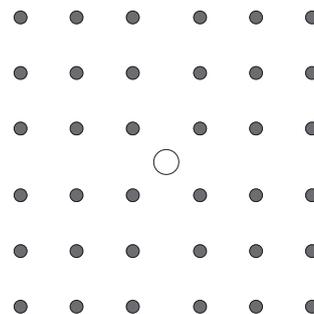
柱長さ 3806 mm、断面二次半径  $708/4 = 177$  mm、

細長比  $\lambda$   $3806/177 = 21.5$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、

座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 393692 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2988 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

440	536	503	503	536	440
536	1024	659	659	1024	536
503	659	754	754	659	503
503	659	754	754	659	503
536	1024	659	659	1024	536
440	536	503	503	536	440

検定比一覧

0.15	0.18	0.17	0.17	0.18	0.15
0.18	0.34	0.22	0.22	0.34	0.18
0.17	0.22	0.25	0.25	0.22	0.17
0.17	0.22	0.25	0.25	0.22	0.17
0.18	0.34	0.22	0.22	0.34	0.18
0.15	0.18	0.17	0.17	0.18	0.15

最大検定値

**【二重柱】**

**側 柱**(円柱)

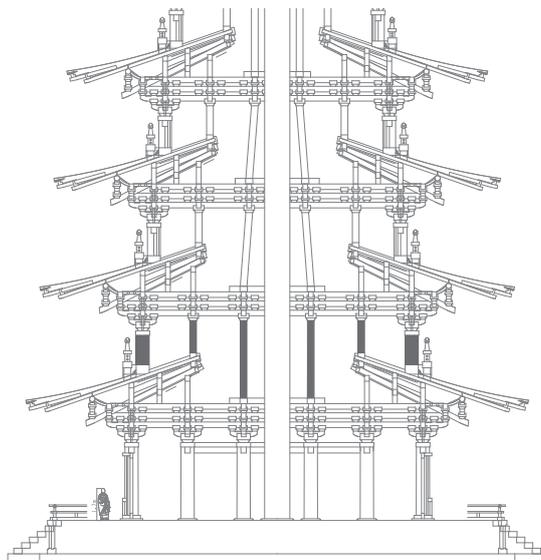
寸法  $\phi 693$  mm、全断面積 =  $693^2 \pi / 4 = 377187$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1564 mm、断面二次半径  $693/4 = 173$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1564/173 = 9.0$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 377187 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2863$  kN

**入側柱**(角柱)

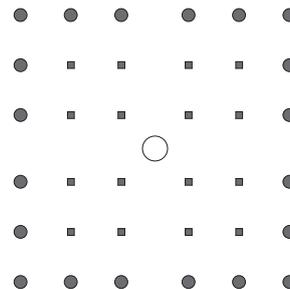
寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1721 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1721/102 = 16.8$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$  kN

**四天柱**(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 4115 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $4115/102 = 40.3$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 40.3 = 0.90$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.90 \times 10^{-3} = 853$  kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

334	367	378	378	367	334
367	859	520	520	859	367
378	520	715	715	520	378
378	520	715	715	520	378
367	859	520	520	859	367
334	367	378	378	367	334

検定比一覧

0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12
0.13	0.90	0.55	0.55	0.90	0.13
0.13	0.55	0.84	0.84	0.55	0.13
0.13	0.55	0.84	0.84	0.55	0.13
0.13	0.90	0.55	0.55	0.90	0.13
0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12

最大検定値

**【三重柱】**

**側柱**(円柱)

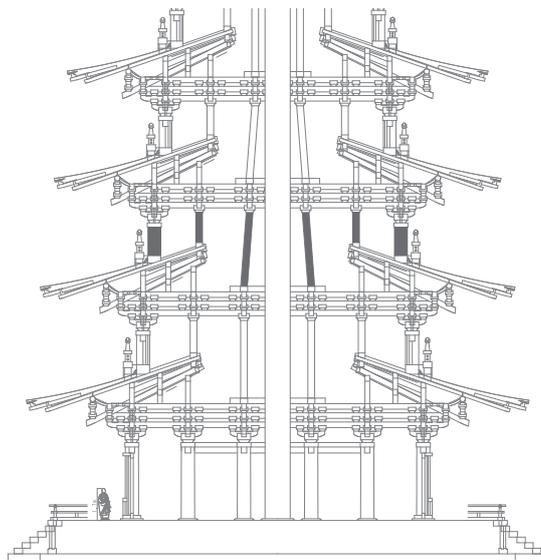
寸法  $\phi 678$  mm、全断面積 =  $678^2 \pi / 4 = 361035 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1505 mm、断面二次半径  $678/4 = 170$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1505/170 = 8.9$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 361035 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2740 \text{ kN}$

**入側柱**(角柱)

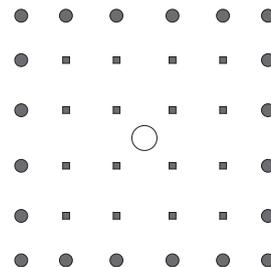
寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1592 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1592/102 = 15.6$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$

**四天柱**(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積 =  $354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 3920 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $3920/102 = 38.4$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 38.4 = 0.92$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 872 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

290	287	282	282	287	290
287	646	363	363	646	287
282	363	707	707	363	282
282	363	707	707	363	282
287	646	363	363	646	287
290	287	282	282	287	290

検定比一覧

0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
0.10	0.68	0.38	0.38	0.68	0.10
0.10	0.38	0.81	0.81	0.38	0.10
0.10	0.38	0.81	0.81	0.38	0.10
0.10	0.68	0.38	0.38	0.68	0.10
0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11

最大検定値

**【四重柱】**

**側 柱**(円柱)

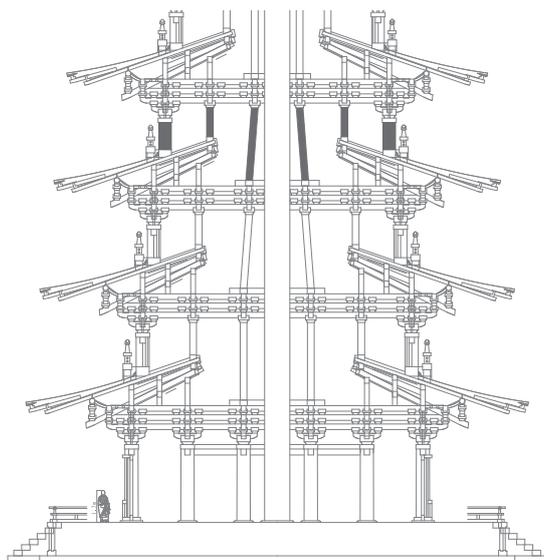
寸法  $\phi 664$  mm、全断面積 =  $664^2 \pi / 4 = 346279$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1446 mm、断面二次半径  $664/4 = 166$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1446/166 = 8.7$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 346279 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2628$  kN

**入側柱**(角柱)

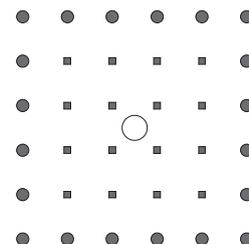
寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1546 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1546/102 = 15.1$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$  kN

**四天柱**(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 3861 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $3861/102 = 37.8$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 37.8 = 0.92$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.92 \times 10^{-3} = 877$  kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

271	249	233	233	249	271
249	348	197	197	348	249
233	197	690	690	197	233
233	197	690	690	197	233
249	348	197	197	348	249
271	249	233	233	249	271

検定比一覧

0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
0.09	0.37	0.21	0.21	0.37	0.09
0.09	0.21	0.79	0.79	0.21	0.09
0.09	0.21	0.79	0.79	0.21	0.09
0.09	0.37	0.21	0.21	0.37	0.09
0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10

最大検定値

**【五重柱】**

**側 柱**(円柱)

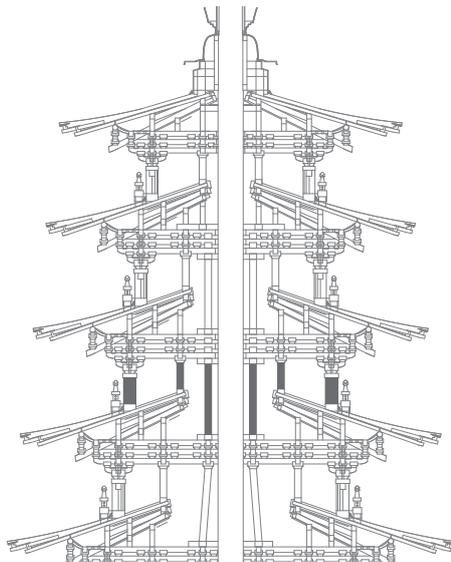
寸法  $\phi 649$  mm、全断面積  $= 649^2 \pi / 4 = 330810 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1387 mm、断面二次半径  $649/4 = 162$  mm、  
 細長比  $\lambda = 1387/162 = 8.5$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 330810 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2511 \text{ kN}$

**入側柱**(角柱)

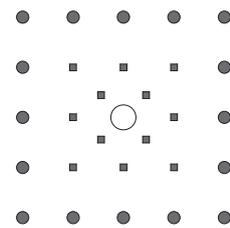
寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1383 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda = 1383/102 = 13.5$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$

**内部柱**(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 4631 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda = 4631/102 = 45.3$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 45.3 = 0.85$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 125316 \times 0.85 \times 10^{-3} = 805 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

223	234		239		234	223
234	200		151		200	234
		604		604		
239	151				151	239
		604		604		
234	200		151		200	234
223	234		239		234	223

検定比一覧

0.09	0.09		0.10		0.09	0.09
0.09	0.21		0.16		0.21	0.09
		0.75		0.75		
0.10	0.16				0.16	0.10
		0.75		0.75		
0.09	0.21		0.16		0.21	0.09
0.09	0.09		0.10		0.09	0.09

最大検定値

**【六重柱】**

**側 柱**(円柱)

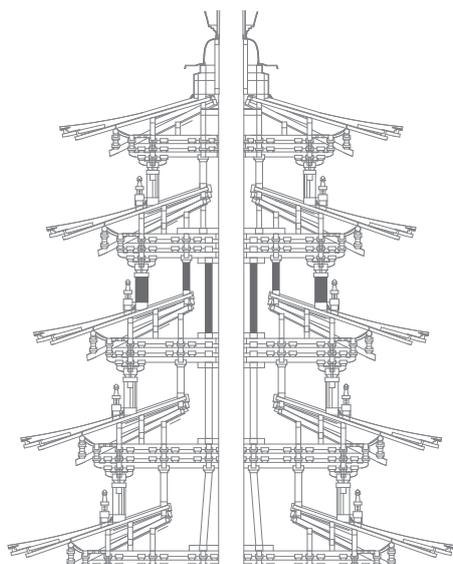
寸法  $\phi 634$  mm、全断面積 =  $634^2 \pi / 4 = 315696$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1328 mm、断面二次半径  $634/4 = 159$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1328/159 = 8.4$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 315696 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2396$  kN

**入側柱**(角柱)

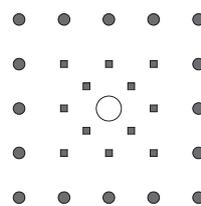
寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 1465 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、  
 細長比  $\lambda$   $1465/102 = 14.3$ 、 $\lambda \leq 30$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951$  kN

**内部柱**(角柱)

寸法  $354$  mm  $\times$   $354$  mm、全断面積 =  $354^2 = 125316$  mm<sup>2</sup>  
 柱長さ 4572 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102$  mm、細長比  $\lambda$   $4572/102 = 44.7$ 、  
 $30 < \lambda \leq 100$ より、座屈低減係数  $\eta = 1.3 - 0.01 \times 44.7 = 0.85$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力 =  $7.6 \times 125316 \times 0.85 \times 10^{-3} = 811$  kN



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

111	95		105		95	111
95	150		158		150	95
		466		466		
105	158				158	105
		466		466		
95	150		158		150	95
111	95		105		95	111

検定比一覧

0.05	0.04		0.04		0.04	0.05
0.04	0.16		0.17		0.16	0.04
		0.58		0.58		
0.04	0.17				0.17	0.04
		0.58		0.58		
0.04	0.16		0.17		0.16	0.04
0.05	0.04		0.04		0.04	0.05

最大検定値

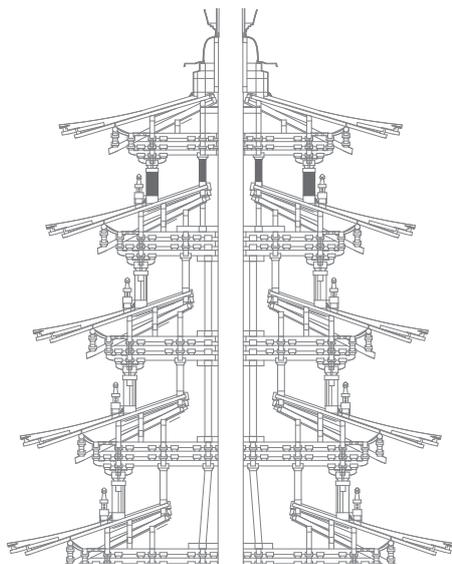
【七重柱】

側 柱(円柱)

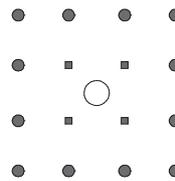
寸法  $\phi 620$  mm、全断面積  $= 620^2 \pi / 4 = 301907 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1245 mm、断面二次半径  $620/4 = 155$  mm、  
 細長比  $\lambda = 1245/155 = 8.0$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 301907 \times 1.0 \times 10^{-3} = 2291 \text{ kN}$

四天柱(角柱)

寸法  $354 \text{ mm} \times 354 \text{ mm}$ 、全断面積  $= 354^2 = 125316 \text{ mm}^2$   
 柱長さ 1161 mm、断面二次半径  $354/(2\sqrt{3}) = 102 \text{ mm}$ 、  
 細長比  $\lambda = 1161/102 = 11.4$ 、 $\lambda \leq 30$  より、座屈低減係数  $\eta = 1.0$ 、  
 座屈を考慮した長期圧縮耐力  $= 7.6 \times 125316 \times 1.0 \times 10^{-3} = 951 \text{ kN}$



KEYSECTION



柱伏図

軸力一覧

(単位: kN)

162	101	101	162
101	179	179	101
101	179	179	101
162	101	101	162

検定比一覧

0.07	0.04	0.04	0.07
0.04	0.19	0.19	0.04
0.04	0.19	0.19	0.04
0.07	0.04	0.04	0.07

最大検定値

1-2 各柱筋の柱盤の曲げ・せん断に関する検討

検討対象および方法・検討用寸法・材料は、復元原案に同じ。検討結果を以下に示す。なお、側柱盤の検討は、「3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討」を参照のこと。

入側柱盤 (単位：kN,m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	-	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	-	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	-	354	354	354	354	354
柱盤の成 (mm)	-	242	242	242	242	242
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	-	85668	85668	85668	85668	85668
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	-	3455276	3455276	3455276	3455276	3455276
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	-	418088396	418088396	418088396	418088396	418088396
断面検定						
M	-	24.0	55.0	51.0	80.0	7.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	6.95	15.92	14.76	23.15	2.03
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	-	0.65	1.49	1.38	2.17	0.19
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.50	-	0.72	-
Q	-	11.0	76.0	198.0	364.0	4.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	0.19	1.33	3.47	6.37	0.07
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.18	1.27	3.30	6.07	0.07
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	1.65	3.03	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	NG	NG	NG	OK
四天柱盤および内部柱の柱盤 (単位：kN,m)						
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	354	383	383	383	383	383
柱盤の成 (mm)	242	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	85668	112985	112985	112985	112985	112985
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3455276	5555096	5555096	5555096	5555096	5555096
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	418088396	819376635	819376635	819376635	819376635	819376635
断面検定						
M	53.0	51.0	40.0	46.0	52.0	57.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	15.34	9.18	7.20	8.28	9.36	10.26
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.44	0.86	0.67	0.78	0.88	0.96
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
Q	37.0	44.0	116.0	115.0	118.0	120.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.65	0.58	1.54	1.53	1.57	1.59
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.62	0.56	1.47	1.45	1.49	1.52
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	0.73	0.73	0.75	0.76
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。五重と六重は、四天柱盤ではなく内部柱の柱盤が存在する。

## 2 組物の検討

## 2-1 一～四の肘木の曲げ・せん断に関する検討

## 2-1-1 平部の肘木

## 1) 検討方法

平部の肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して断面検定する。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	9.0	30.0	41.0	40.0	46.0	52.0	57.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.5	8.2	11.3	11.0	12.6	14.3	15.7
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.23	0.77	1.05	1.03	1.18	1.34	1.47
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.49
Q	23.0	101.0	57.0	116.0	115.0	117.0	120.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.47	2.05	1.15	2.35	2.33	2.37	2.43
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.44	1.95	1.10	2.24	2.22	2.26	2.32
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.97	-	1.12	1.11	1.13	1.16
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	OK	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	14.0	8.0	29.0	20.0	15.0	22.0	33.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.8	2.2	8.0	5.5	4.1	6.0	9.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.36	0.21	0.75	0.51	0.39	0.57	0.85
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	21.0	14.0	33.0	20.0	26.0	37.0	56.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.43	0.28	0.67	0.41	0.53	0.75	1.13
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	0.27	0.64	0.39	0.50	0.71	1.08
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	18.0	13.0	29.0	67.0	64.0	58.0	51.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	4.9	3.6	8.0	18.4	17.6	15.9	14.0
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.46	0.33	0.75	1.72	1.65	1.49	1.31
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.57	0.55	0.50	-
Q	22.0	27.0	35.0	110.0	116.0	112.0	65.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.45	0.55	0.71	2.23	2.35	2.27	1.32
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.42	0.52	0.68	2.12	2.24	2.16	1.25
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	1.06	1.12	1.08	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	OK
一の肘木 検定							
一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
一の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
フェース位置のM	6.2	3.6	9.8	8.0	9.8	13.2	18.4
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.7	1.0	2.7	2.2	2.7	3.6	5.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.16	0.09	0.25	0.20	0.25	0.34	0.47
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	22.0	18.0	40.0	34.0	43.0	56.0	78.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.45	0.36	0.81	0.69	0.87	1.13	1.58
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.42	0.35	0.77	0.66	0.83	1.08	1.50
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.75
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率≥1.00を示す。

## 2-1-2 隅行きの肘木

## 1) 検討方法

隅行きの肘木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。応力値は、添付資料を参照のこと。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)。
- ・継手はないものとして、一材として検討した応力を用いている。
- ・すべての肘木は全断面有効とし、最大応力に対して断面検定する。
- ・側柱筋の一の肘木は、一の肘木上巻斗と一木造り出しとし、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・入側柱筋の一の肘木は、大斗フェース位置の応力に対して、断面検定する。
- ・一の肘木は、ケヤキの場合の検定値も示す。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)							
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
四の肘木 検定							
四の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
四の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	9.0	94.0	48.0	34.0	51.0	67.0	86.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.5	25.8	13.2	9.3	14.0	18.4	23.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.23	2.42	1.23	0.87	1.31	1.72	2.21
【参考】 基準強度に対する比率	-	0.81	-	-	-	0.57	0.74
Q	16.0	224.0	64.0	43.0	68.0	93.0	117.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.32	4.54	1.30	0.87	1.38	1.88	2.37
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.31	4.32	1.23	0.83	1.31	1.79	2.26
【参考】 基準強度に対する比率	-	2.16	-	-	-	0.90	1.13
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	NG	OK	OK	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
三の肘木 検定							
三の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
三の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	10.0	31.0	43.0	16.0	17.0	22.0	35.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.7	8.5	11.8	4.4	4.7	6.0	9.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.26	0.80	1.11	0.41	0.44	0.57	0.90
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	5.0	37.0	24.0	12.0	14.0	19.0	31.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.10	0.75	0.49	0.24	0.28	0.38	0.63
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.10	0.71	0.46	0.23	0.27	0.37	0.60
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
二の肘木 検定							
二の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
二の肘木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
断面検定							
M	15.0	51.0	56.0	29.0	39.0	49.0	53.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	4.1	14.0	15.4	8.0	10.7	13.5	14.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.39	1.31	1.44	0.75	1.00	1.26	1.36
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	21.0	60.0	45.0	32.0	61.0	75.0	44.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.43	1.22	0.91	0.65	1.24	1.52	0.89
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.41	1.16	0.87	0.62	1.18	1.45	0.85
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位：kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
側柱筋一の肘木 検定							
側柱筋一の肘木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
側柱筋一の肘木の成 (mm)	487	487	487	487	487	487	487
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	122237	122237	122237	122237	122237	122237	122237
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570	9921570
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254	2415902254
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.0	13.1	15.7	16.6	19.5	27.2
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.9	0.7	1.3	1.6	1.7	2.0	2.7
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.08	0.07	0.12	0.15	0.16	0.18	0.26
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	17.0	14.0	28.0	32.0	35.0	41.0	56.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.21	0.17	0.34	0.39	0.43	0.50	0.69
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.20	0.16	0.33	0.37	0.41	0.48	0.65
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	8.7	7.0	13.1	15.7	16.6	19.5	27.2
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.9	0.7	1.3	1.6	1.7	2.0	2.7
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
曲げ検定比	0.07	0.06	0.11	0.13	0.14	0.17	0.23
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	17.0	14.0	28.0	32.0	35.0	41.0	56.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.21	0.17	0.34	0.39	0.43	0.50	0.69
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
せん断検定比	0.14	0.11	0.23	0.26	0.29	0.34	0.46
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

(単位: kN.m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
入側柱筋一の肘木 検定							
入側柱筋一の肘木の幅 (mm)	-	-	-	-	-	-	251
入側柱筋一の肘木の成 (mm)	-	-	-	-	-	-	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	-	-	-	-	-	-	536980510
断面検定							
フェース位置のM	-	-	-	-	-	-	31.2
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	8.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	32.0
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	10.7
曲げ検定比	-	-	-	-	-	-	0.80
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	-	-	-	-	-	-	62.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.26
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.05
せん断検定比	-	-	-	-	-	-	1.20
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	-	-	-	OK
ケヤキの検定							
断面検定							
フェース位置のM	-	-	-	-	-	-	31.2
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	8.6
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	35.3
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	11.8
曲げ検定比	-	-	-	-	-	-	0.73
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	-	-	-	-	-	-	62.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.26
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	3.0
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-	-	1.5
せん断検定比	-	-	-	-	-	-	0.84
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	-	-	-	-	-	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

## 2-2 平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)の曲げ・せん断に関する検討

## 1) 検討方法

平の尾垂木・隅行尾垂木(上方・下方)に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

## 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・断面検定は表計算にておこなう。

## 3) 検討結果

(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
平の尾垂木の幅 (mm)	251	251	251	251	251	251	251
平の尾垂木の成 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	74045	74045	74045	74045	74045	74045	74045
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546	3640546
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510	536980510
平の尾垂木の断面検定							
M	53.0	40.0	54.0	97.0	124.0	112.0	145.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	14.56	10.99	14.83	26.64	34.06	30.76	39.83
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	1.36	1.03	1.39	2.49	3.19	2.88	3.73
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.83	1.06	0.96	1.24
Q	67.0	47.0	166.0	99.0	192.0	343.0	447.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.36	0.95	3.36	2.01	3.89	6.95	9.06
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	1.29	0.91	3.20	1.91	3.70	6.62	8.62
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	1.60	0.96	1.85	3.31	4.31
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	NG	NG	NG	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

（単位：kN.m）

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
隅行尾垂木（上）の幅（mm）	295	295	295	295	295	295	295
隅行尾垂木（上）の成（mm）	339	339	339	339	339	339	339
断面積 A（mm <sup>2</sup> ）	100005	100005	100005	100005	100005	100005	100005
断面係数Z（mm <sup>3</sup> ）	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283	5650283
断面二次モーメント I（mm <sup>4</sup> ）	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884	957722884
隅行尾垂木（上）の断面検定							
M	6.0	7.0	25.0	53.0	72.0	71.0	95.0
$\sigma$ （N/mm <sup>2</sup> ）	1.06	1.24	4.42	9.38	12.74	12.57	16.81
1.2×Fb（N/mm <sup>2</sup> ）	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb（N/mm <sup>2</sup> ）	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.10	0.12	0.41	0.88	1.19	1.18	1.57
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.52
Q	6.0	5.0	56.0	41.0	83.0	163.0	219.0
$\tau$ （N/mm <sup>2</sup> ）	0.09	0.07	0.84	0.61	1.24	2.44	3.28
Fs（N/mm <sup>2</sup> ）	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs（N/mm <sup>2</sup> ）	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.09	0.07	0.80	0.59	1.19	2.33	3.13
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	1.16	1.56
100年保証（検定比1.45以下でOK）	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG
隅行尾垂木（下）の断面検定							
M	17.0	9.0	33.0	60.0	85.0	81.0	100.0
$\sigma$ （N/mm <sup>2</sup> ）	3.01	1.59	5.84	10.62	15.04	14.34	17.70
1.2×Fb（N/mm <sup>2</sup> ）	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb（N/mm <sup>2</sup> ）	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.28	0.15	0.55	0.99	1.41	1.34	1.66
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	0.55
Q	12.0	8.0	75.0	46.0	98.0	184.0	229.0
$\tau$ （N/mm <sup>2</sup> ）	0.18	0.12	1.12	0.69	1.47	2.76	3.43
Fs（N/mm <sup>2</sup> ）	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs（N/mm <sup>2</sup> ）	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.17	0.11	1.07	0.66	1.40	2.63	3.27
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	1.31	1.64
100年保証（検定比1.45以下でOK）	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

### 3 軒の検討

#### 3-1 丸桁の曲げ・せん断に関する検討

##### 1) 検討方法

丸桁に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

##### 2) 前提条件

- ・荷重条件：ベタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)
- ・継手は考慮せず、一材として検討した応力を用いている。

##### 3) 検討結果

(単位：kN,m)

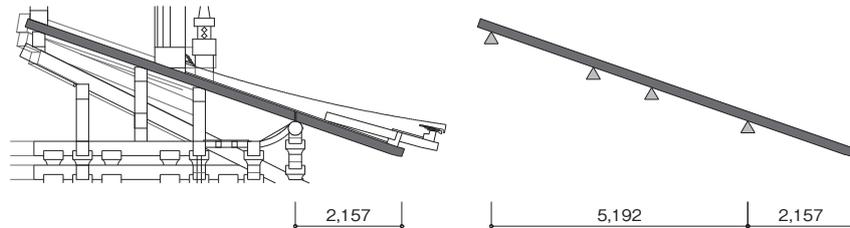
層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
丸桁の径 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	68315	68315	68315	68315	68315	68315	68315
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102	2519102
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515	371567515
断面検定							
M	16	17	21	18	23	25	28
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	6.32	6.91	8.34	7.31	9.09	9.84	11.23
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.59	0.65	0.78	0.68	0.85	0.92	1.05
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
Q	37	40	45	41	44	55	55
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.73	0.79	0.88	0.79	0.86	1.07	1.07
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.69	0.75	0.84	0.75	0.82	1.02	1.02
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

### 3-2 地垂木および側柱盤の曲げ・せん断に関する検討

検討対象および方法・検討用寸法・材料は、復元原案に同じ。検討結果を以下に示す。

#### a) 地垂木



(単位: kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地垂木の径 (mm)	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9	185.9
地垂木のピッチ (mm)	329	329	329	329	329	329	329
木負	64	64	64	64	64	64	64
先端集中荷重 P	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
等分布荷重 w (自重含)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
出寸法 a	2.107	2.157	2.216	2.275	2.334	2.452	2.452
丸桁位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	10.5	11.1	12.2	13.1	13.6	15.1	15.1
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	0.85	0.90	0.99	1.07	1.11	1.23	1.23
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.19	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK						
柱盤位置での断面検定							
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	7.1	8.4	13.4	15.9	19.8	27.0
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	-	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
並列材1.15×Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	-	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
曲げ検定比	-	0.58	0.68	1.09	1.29	1.61	2.20
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	0.62	0.84
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	0.5	0.5	0.9	1.0	1.2	1.5
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	-	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	-	0.48	0.48	0.86	0.95	1.14	1.43
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	-	OK	OK	OK	OK	NG	NG
【参考】 たわみ							
弾性たわみ (合計)	33.0	36.0	42.0	48.0	53.0	68.0	69.0
クリープ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
クリープ考慮たわみ	66	72.0	84.0	96.0	106.0	136.0	138.0
たわみ角	1/32	1/30	1/26	1/24	1/22	1/18	1/18

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

## b) 柱 盤



(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重
樹種	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	8820	8820	8820	8820	8820	8820
柱盤の幅 (mm)	620	634	649	664	678	693
柱盤の成 (mm)	413	413	413	413	413	502
断面検定						
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.7	1.5	3.3	3.9	4.5	4.2
$1.2 \times F_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
$L_{fb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.16	0.14	0.31	0.37	0.42	0.39
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.3	0.3	0.7	0.8	1.0	1.0
$F_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
$1.5 \times L_{fs}$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.29	0.29	0.67	0.76	0.95	0.95
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	-	-
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	OK	OK	OK

網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。

FEM解析による地垂木および柱盤の資料は、章末に添付する。

### 3-3 地隅木の曲げ・せん断に関する検討

#### 1) 検討方法

地隅木に長期に生じる応力は、架構解析の結果を採用する。

#### 2) 前提条件

- ・荷重条件：バタ葺き
- ・材料：ヒノキ(曲げ基準強度は無等級の1.2倍、長期せん断許容応力度は1.5倍)

#### 3) 検討結果

##### 【地隅木】

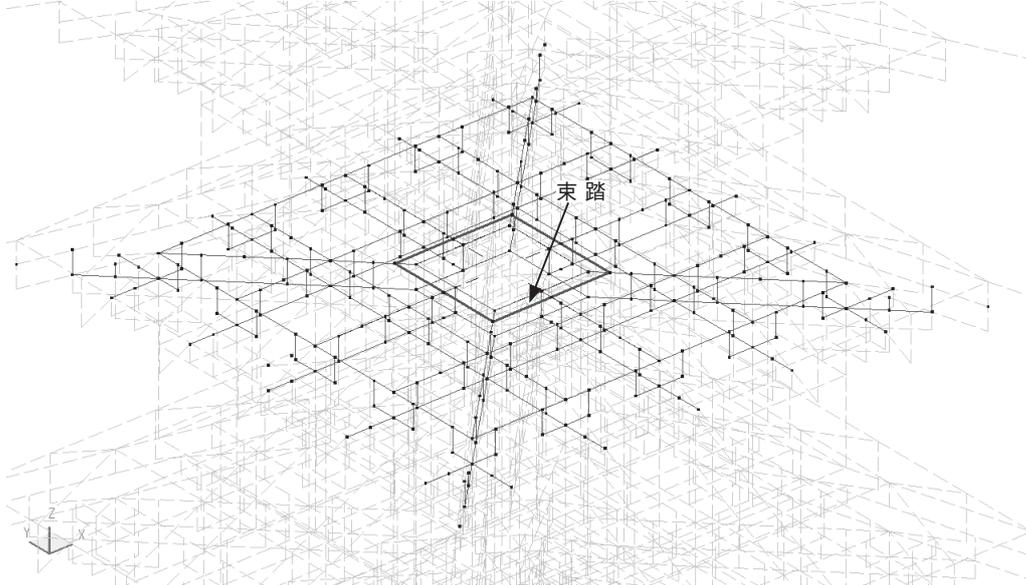
(単位：kN,m)

層名称	七重	六重	五重	四重	三重	二重	初重
樹種	ヒノキ						
ヤング係数	8820	8820	8820	8820	8820	8820	8820
地隅木の幅 (mm)	295	295	295	295	295	295	295
地隅木の成 (mm)	375	375	375	375	375	375	375
断面積 A (mm <sup>2</sup> )	110625	110625	110625	110625	110625	110625	110625
断面係数Z (mm <sup>3</sup> )	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063	6914063
断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719	1296386719
地隅木の断面検定							
M	18.0	24.0	48.0	110.0	145.0	137.0	185.0
$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.60	3.47	6.94	15.91	20.97	19.81	26.76
1.2×Fb (N/mm <sup>2</sup> )	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04	32.04
Lfb (N/mm <sup>2</sup> )	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
曲げ検定比	0.24	0.33	0.65	1.49	1.96	1.86	2.51
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	0.50	0.65	0.62	0.84
Q	14.0	23.0	105.0	84.0	165.0	298.0	399.0
$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.19	0.31	1.42	1.14	2.24	4.04	5.41
Fs (N/mm <sup>2</sup> )	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
1.5×Lfs (N/mm <sup>2</sup> )	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
せん断検定比	0.18	0.30	1.36	1.08	2.13	3.85	5.15
【参考】 基準強度に対する比率	-	-	-	-	1.07	1.92	2.58
100年保証 (検定比1.45以下でOK)	OK	OK	OK	NG	NG	NG	NG

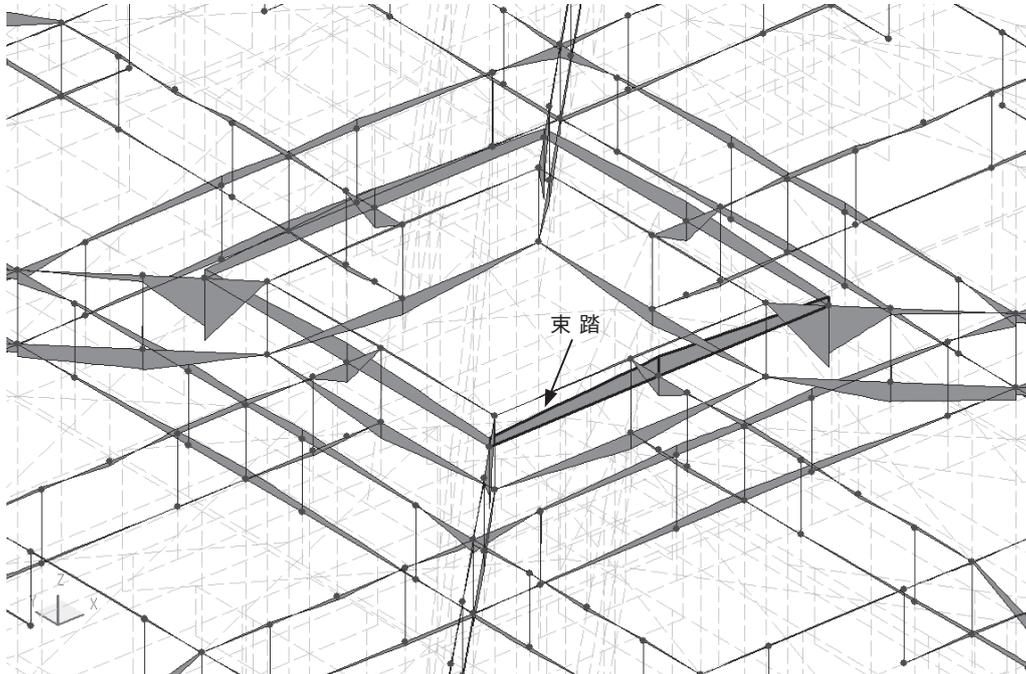
網掛けは、検定比または基準強度に対する比率を示す。太字は、検定比>1.45または基準強度に対する比率 $\geq$ 1.00を示す。

## 3-4 六重 四の肘木上束踏の曲げ・せん断に関する検討

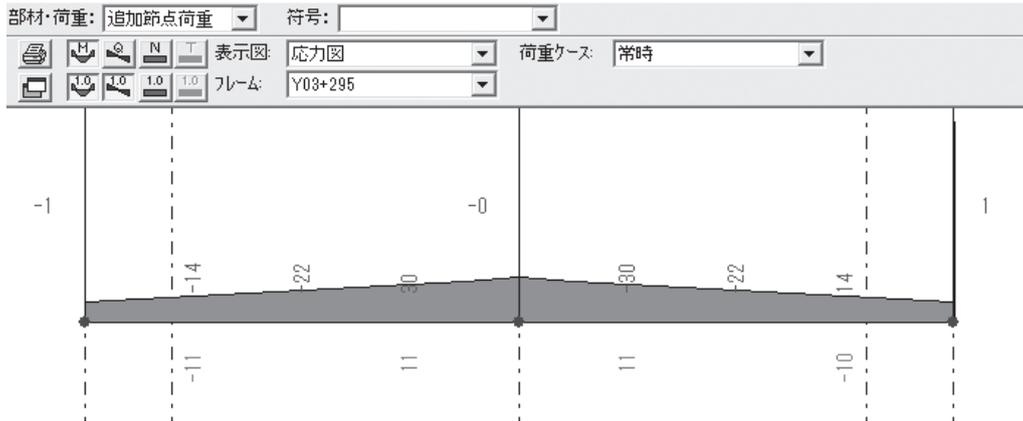
検討方法・材料は、入側柱盤および四天柱盤に同じ。検討結果を以下に示す。



六重 四の肘木レベル (3D)



六重 四の肘木レベル 応力図 (3D)



六重 四の肘木上束踏

部材寸法 383 mm×295 mm、樹種 ヒノキ

基準強度  $F_b = 1.2 \times 26.7 = 32.04 \text{ N/mm}^2$ 、 $F_s = 2.1 \text{ N/mm}^2$

長期許容応力度  $L_f b = 32.04/3 = 10.7 \text{ N/mm}^2$ 、 $L_f s = 1.5 \times 2.1/3 = 1.05 \text{ N/mm}^2$

断面性能  $A_e = 1129 \times 10^2 \text{ mm}^2$ 、 $Z_e = 5555 \times 10^3 \text{ mm}^3$

断面検定(長期)

$$L \sigma = M_L / Z_e = 30.0 \times 10^6 / 5555 \times 10^3 = 5.40 < 10.7 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$L \tau = 1.5 Q_L / A_e = 1.5 \times 11 \times 10^3 / 1129 \times 10^2 = 0.15 < 1.05 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

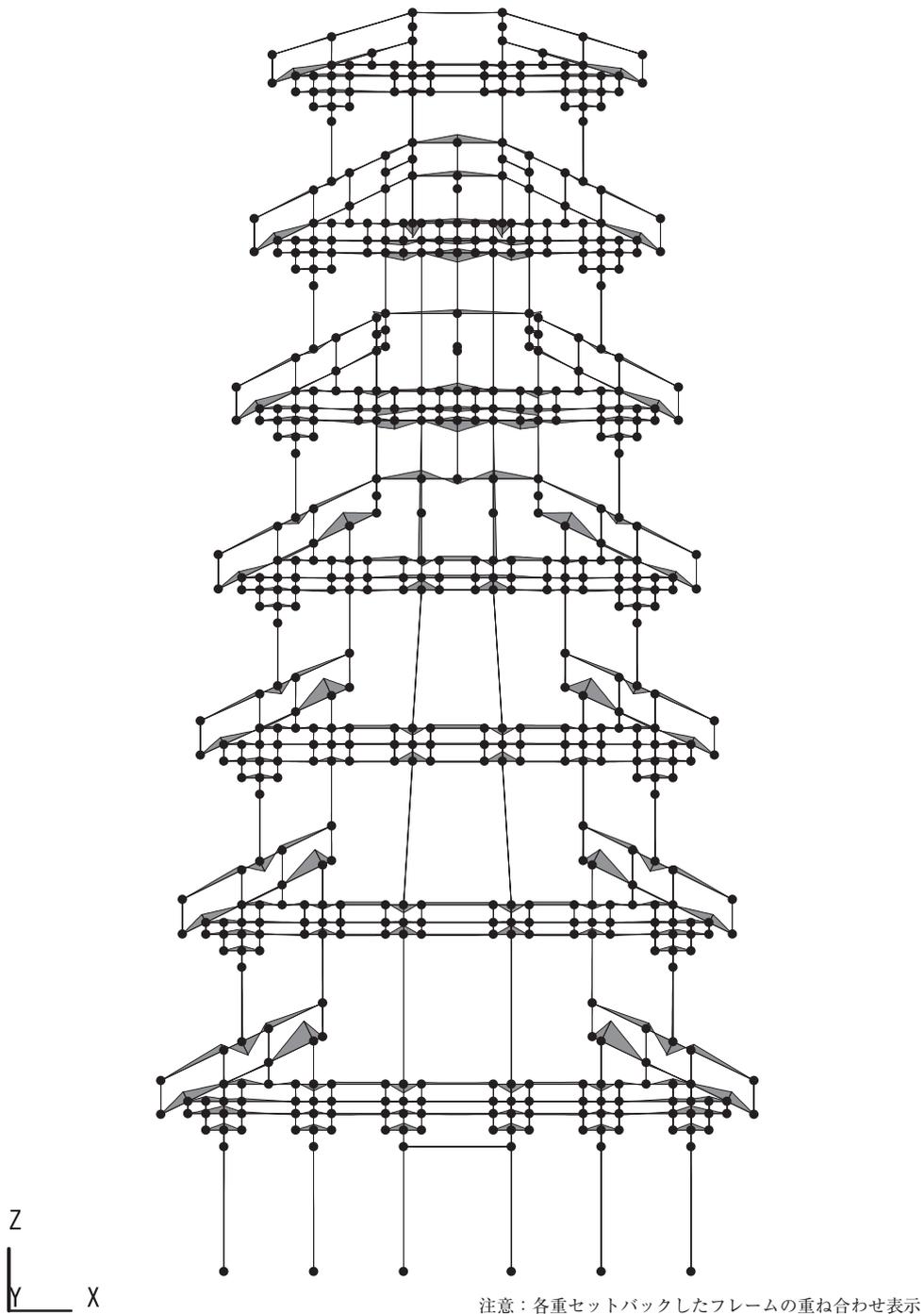
曲げ検定比  $5.40/10.7 = 0.50$ 、せん断検定比  $0.15/1.05 = 0.14$



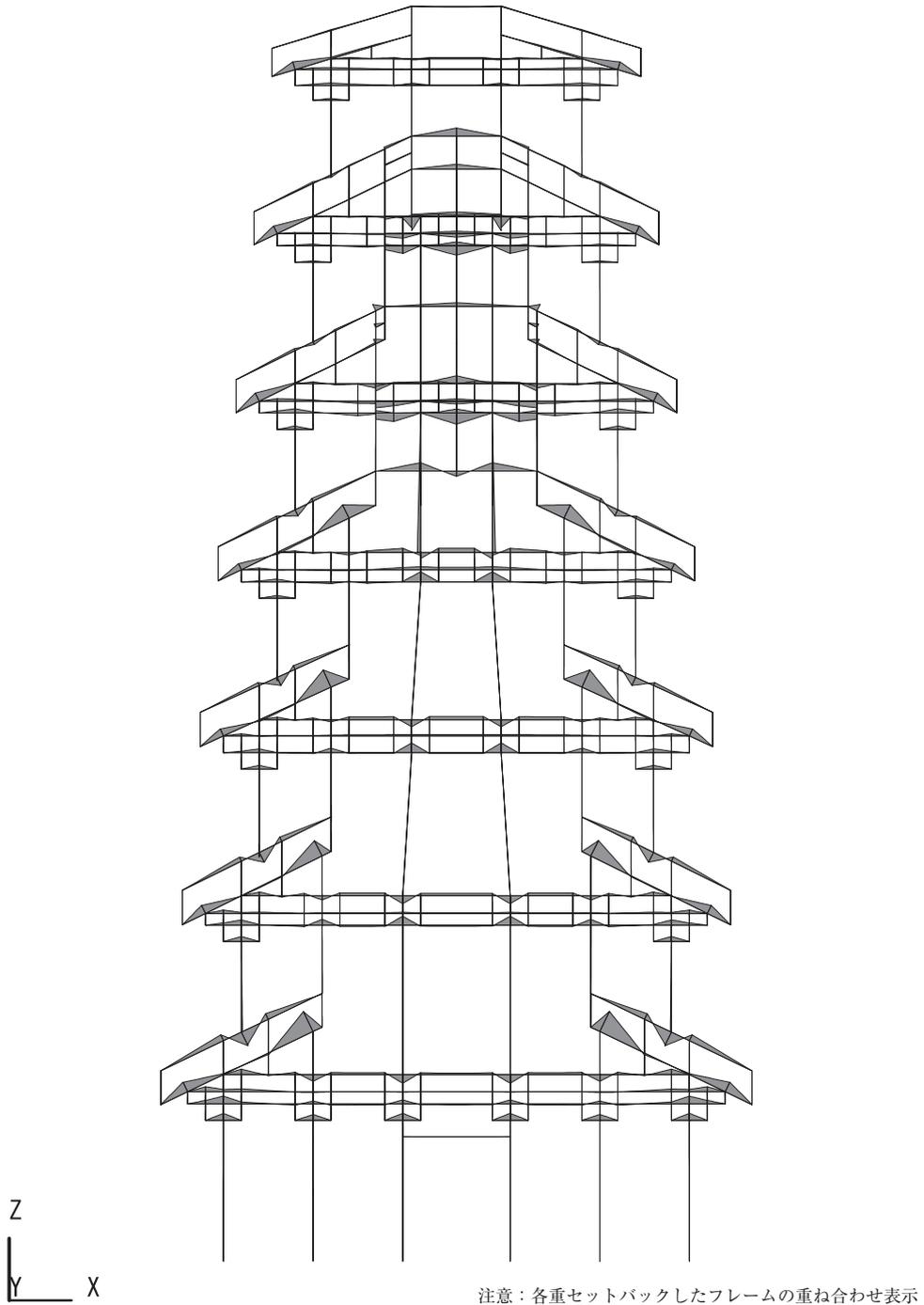
## 4 応力図

### 4-1 平の長期に生じる応力図(塔身全体)

平全体(曲げモーメント図:長期)

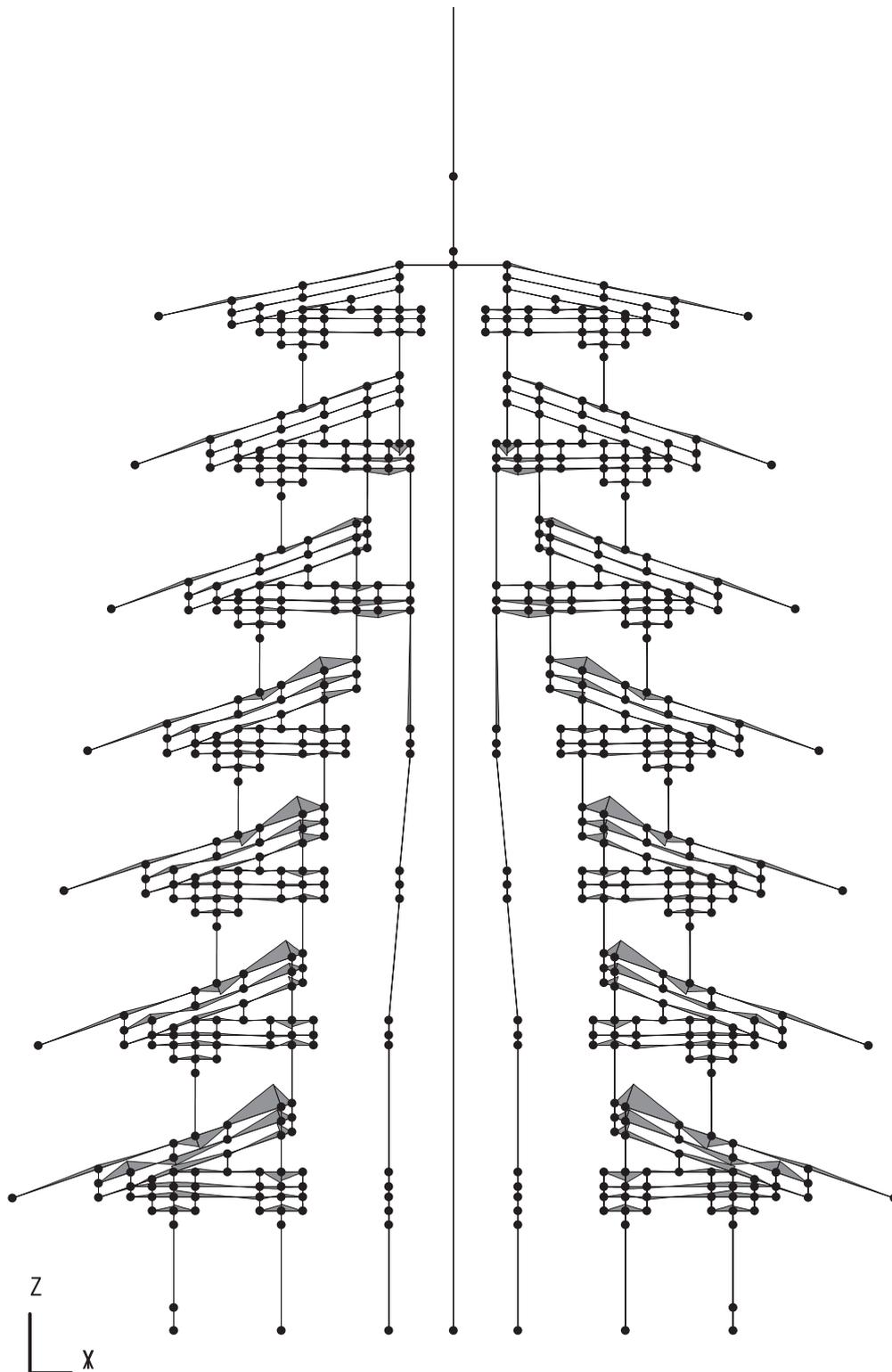


平全体(曲げモーメント図：長期)

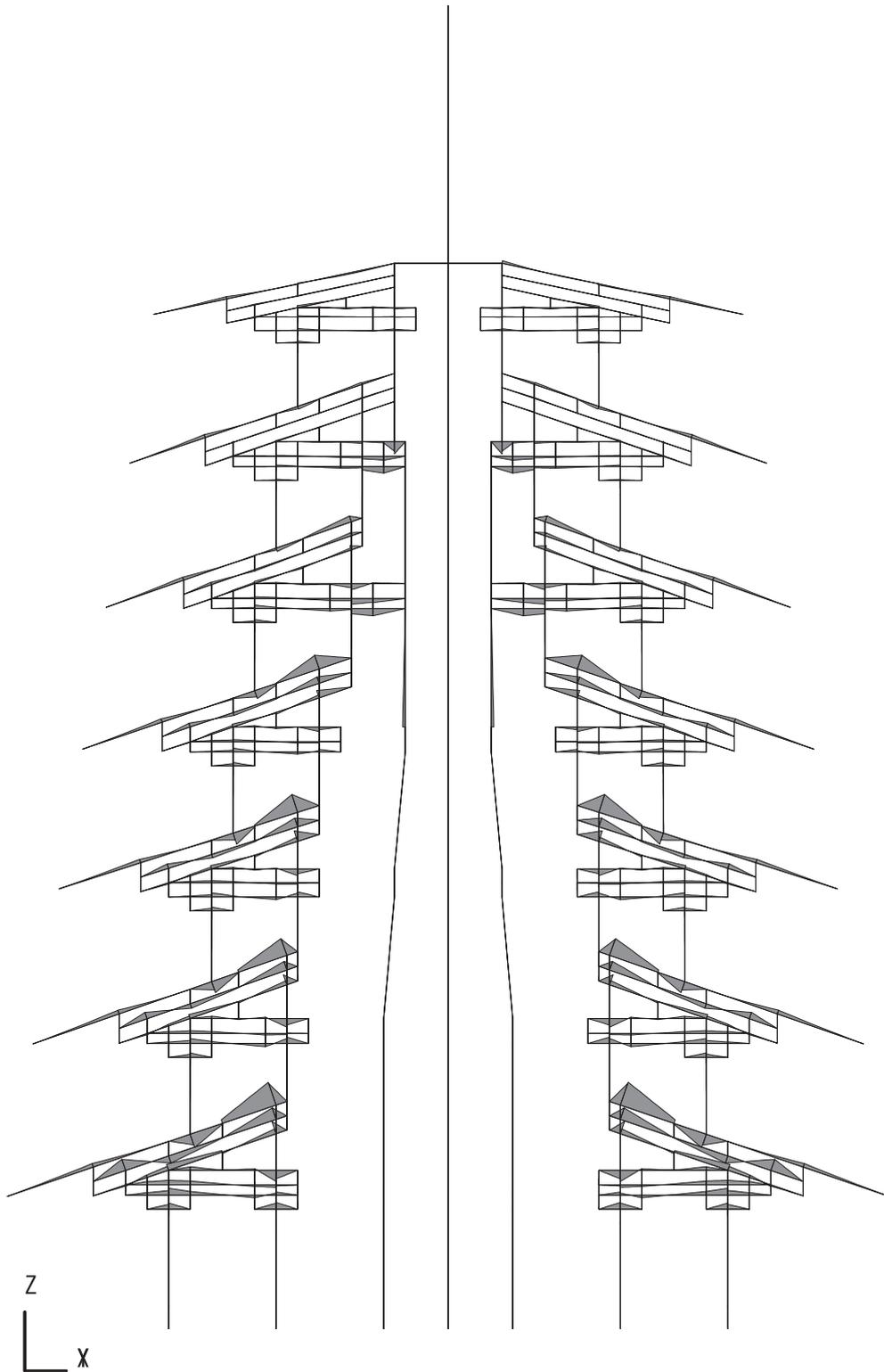


4-2 隅行きの長期に生じる応力図(塔身全体)

45°(曲げモーメント図:長期)

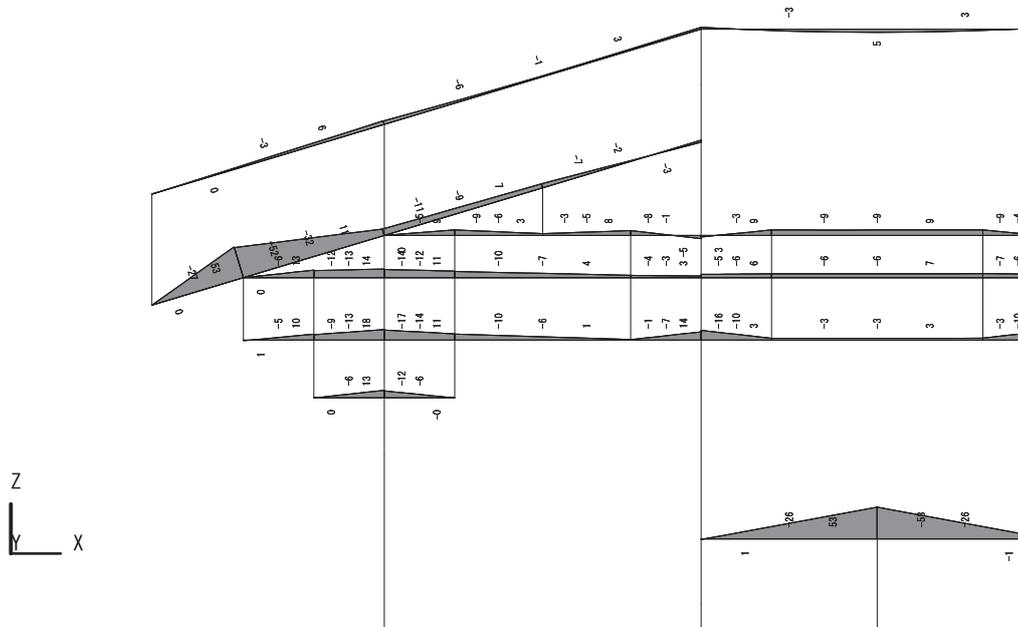


45° (曲げモーメント図：長期)

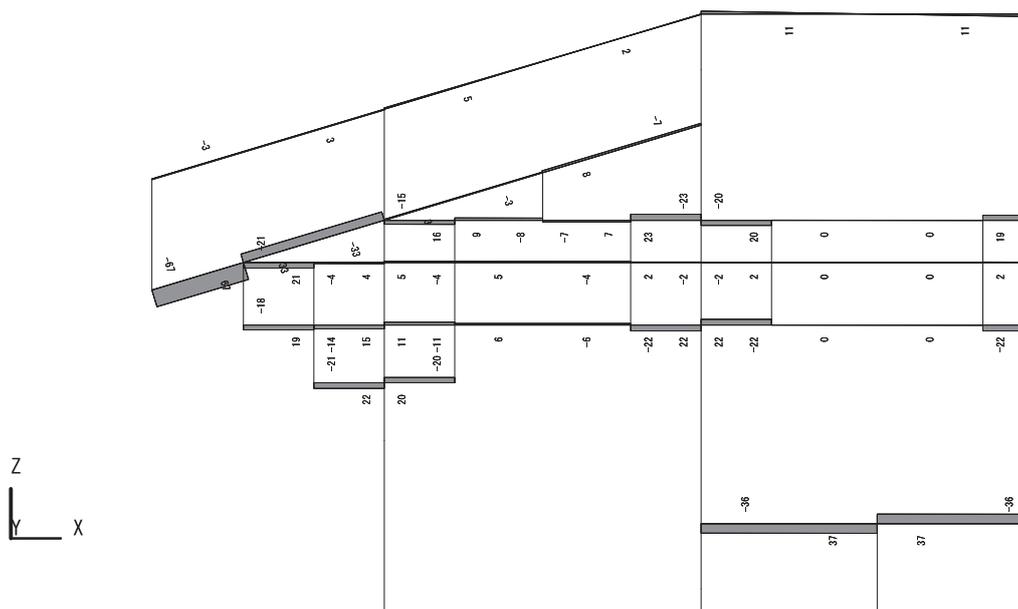


4-3 平の長期に生じる応力図(各重)

Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木(平) および肘木 曲げモーメント図 単位:kNm



Y03+295 (応力図:長期) 七重尾垂木(平) および肘木 せん断力図 単位:kN

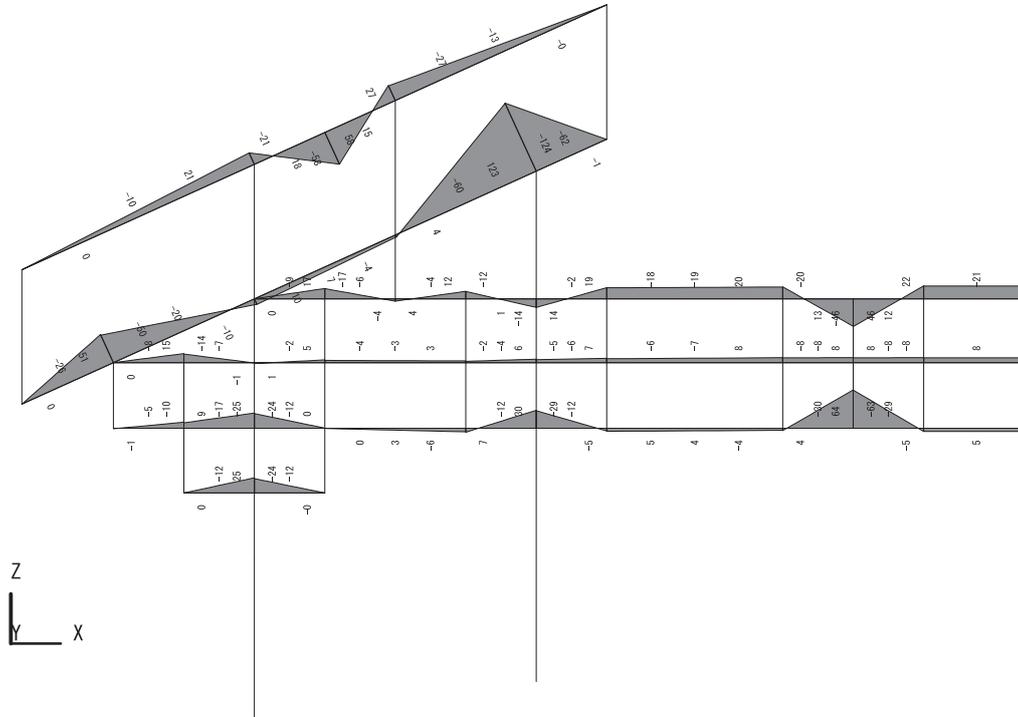




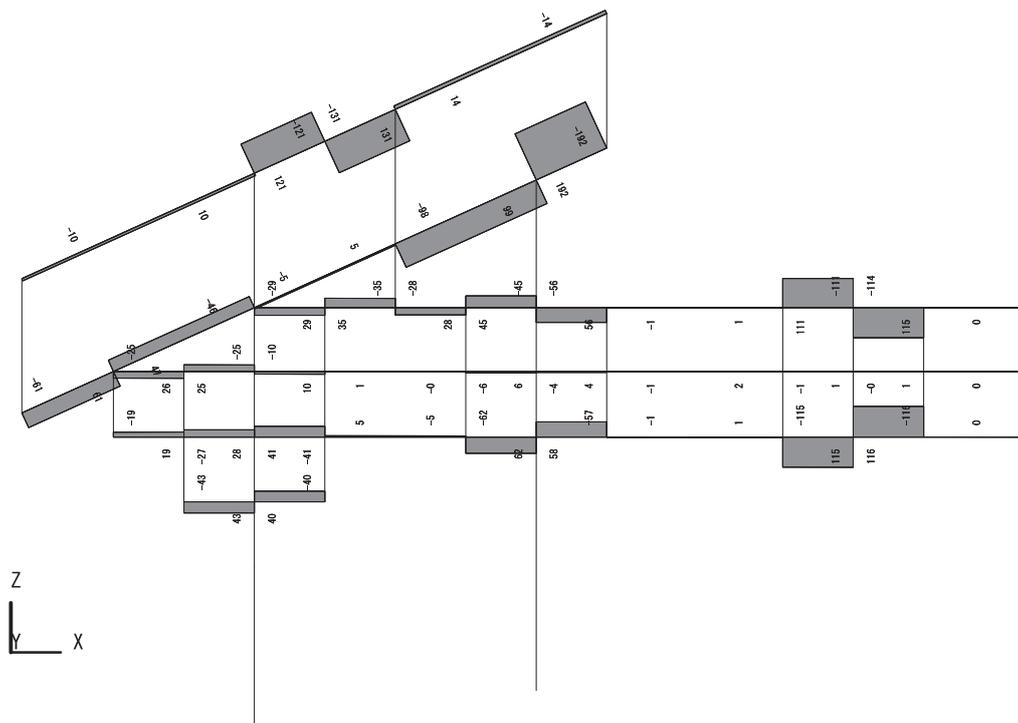




Y03+295 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm

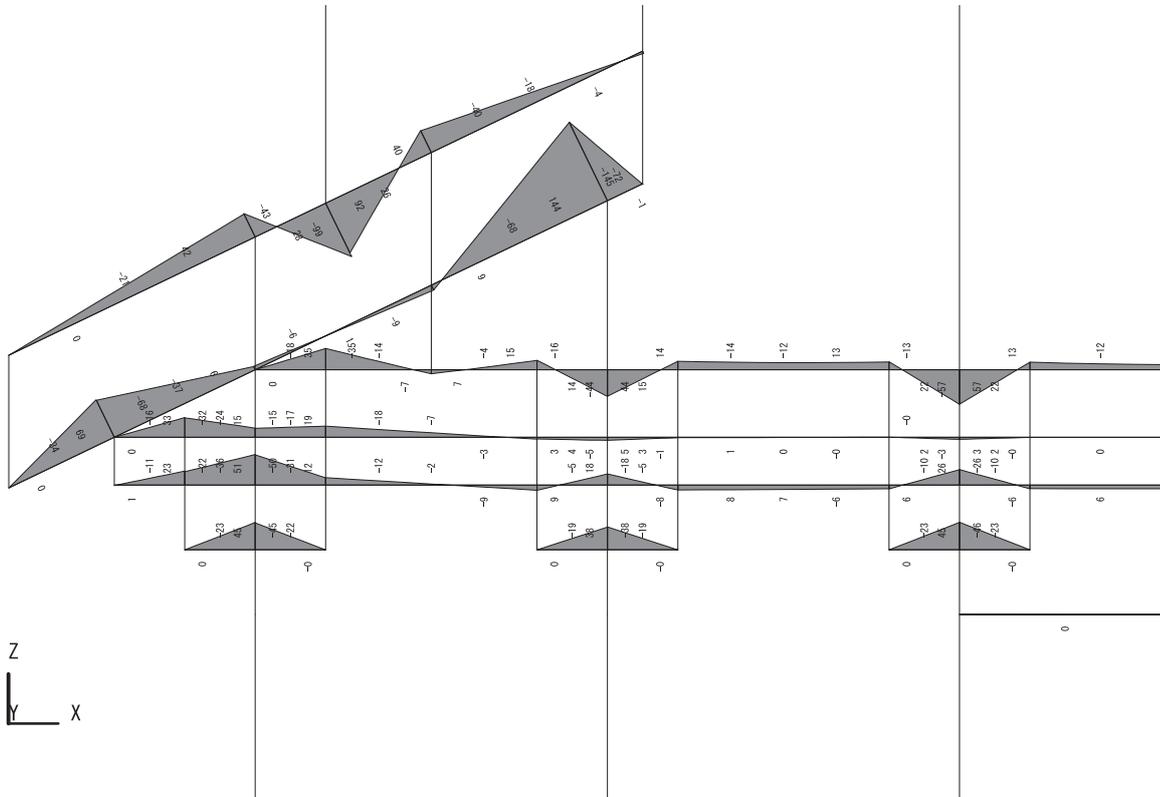


Y03+295 (応力図:長期) 三重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位: kN

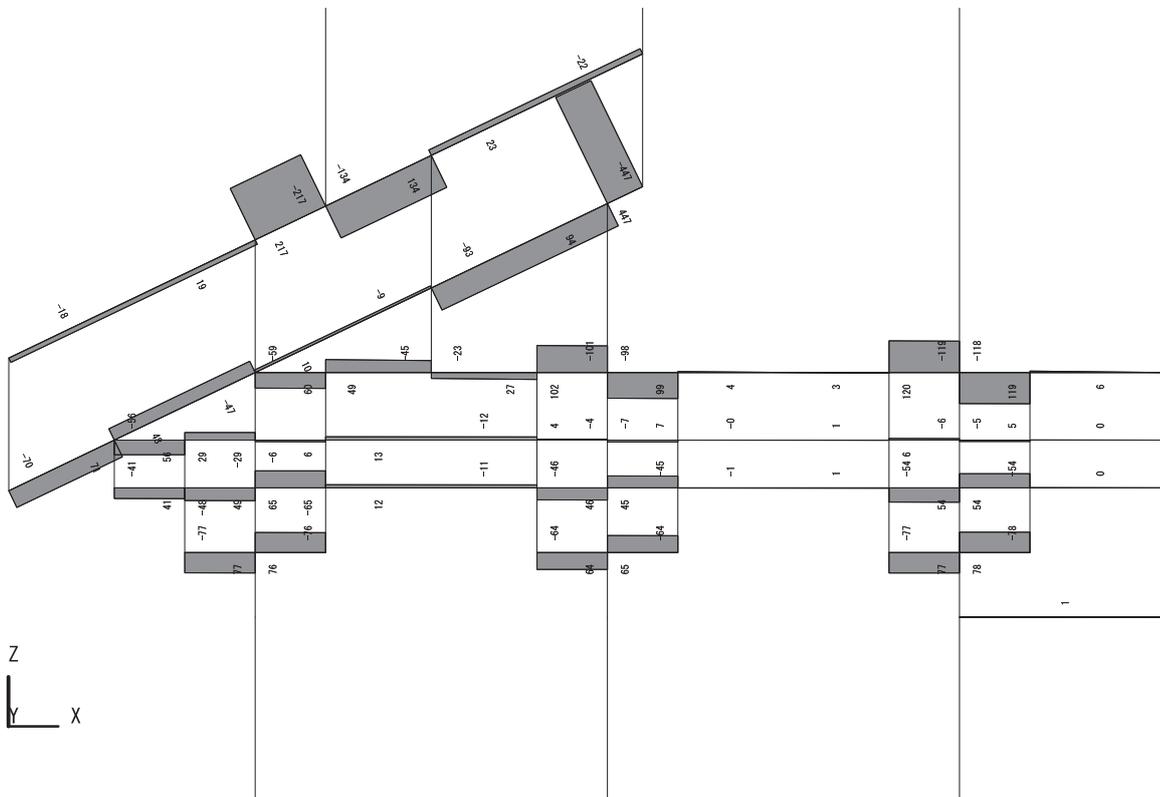




Y03 (応力図:長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 曲げモーメント図 単位: kNm

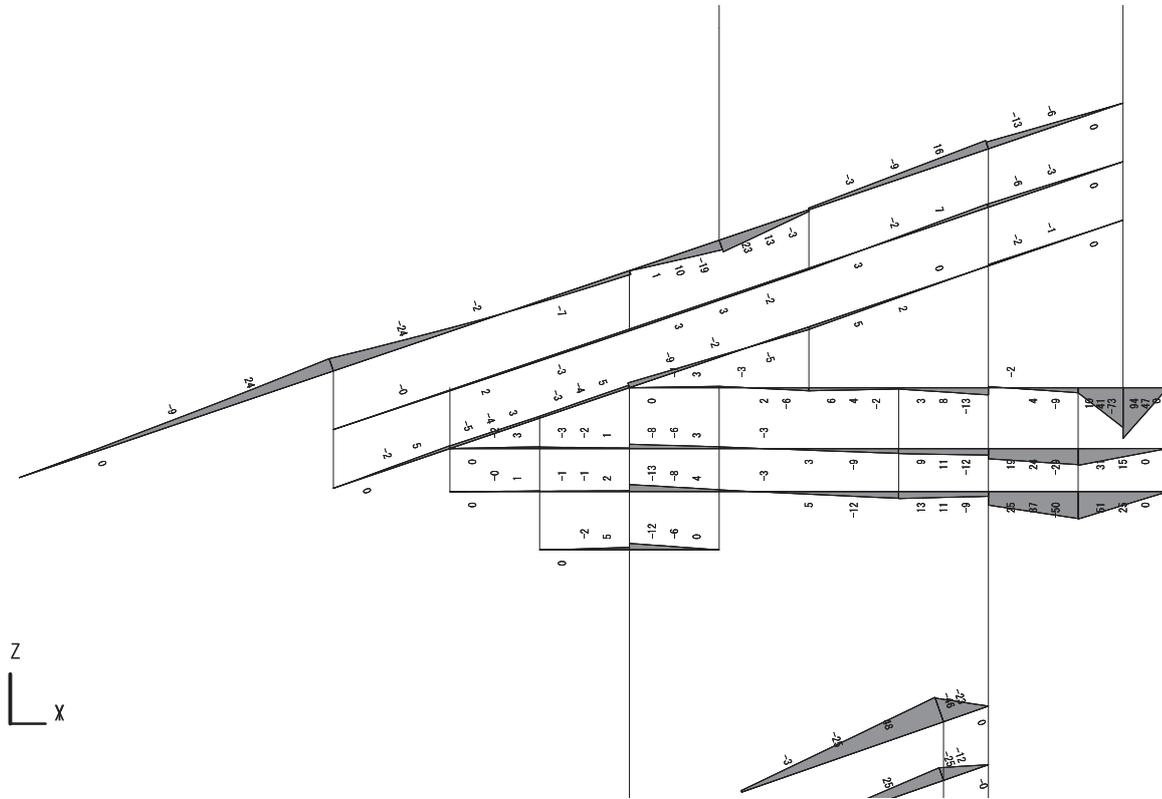


Y03 (応力図:長期) 初重尾垂木 (平) および肘木 せん断力図 単位: kN

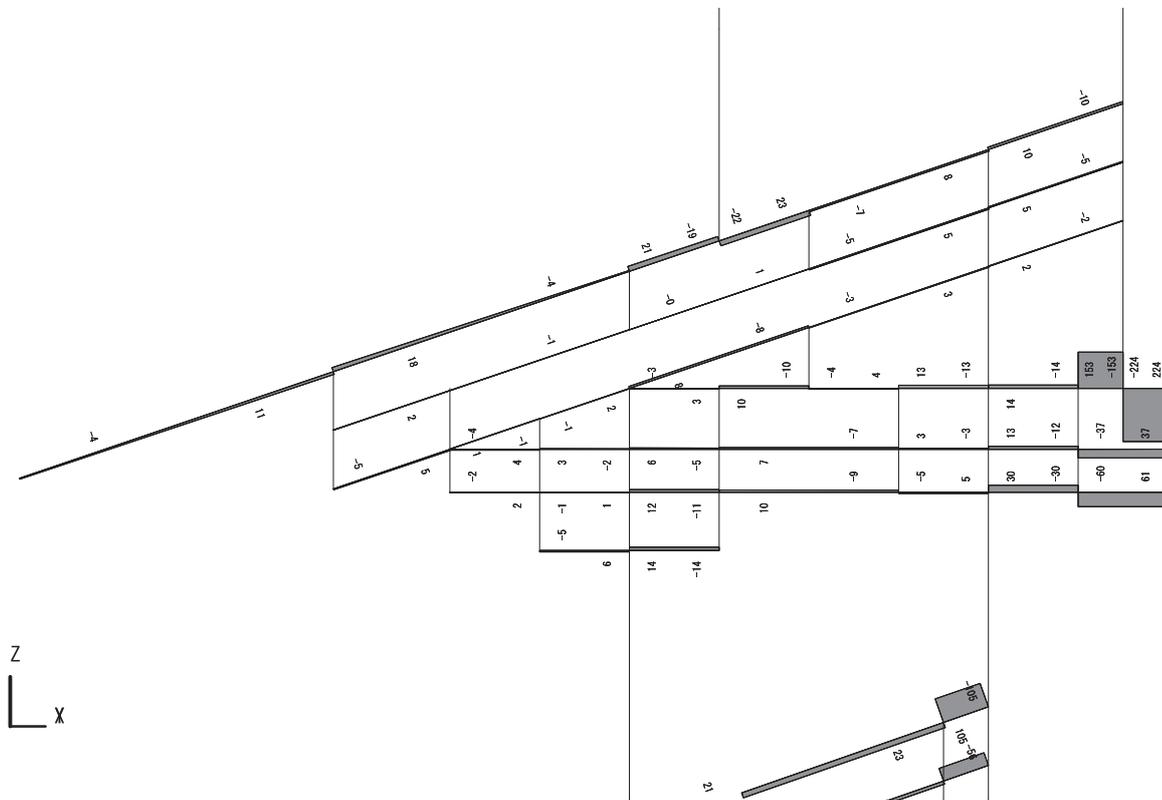




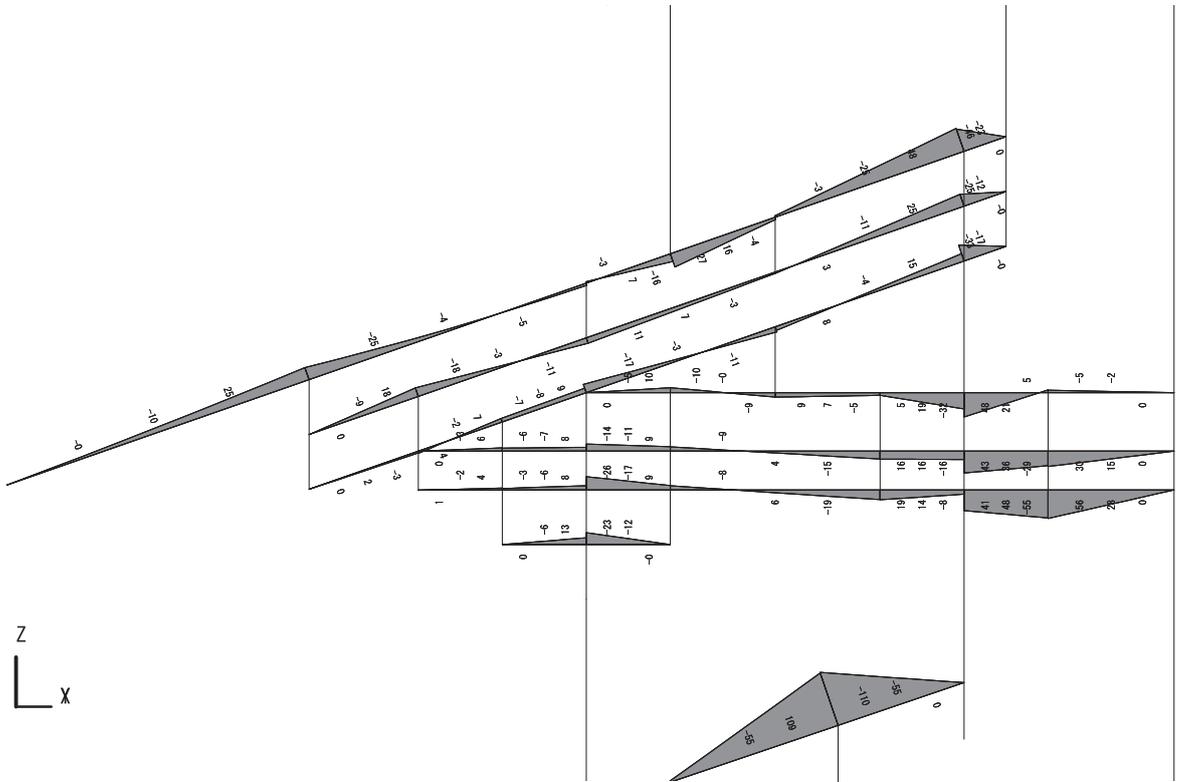
45° (応力図: 長期) 六重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位: kNm



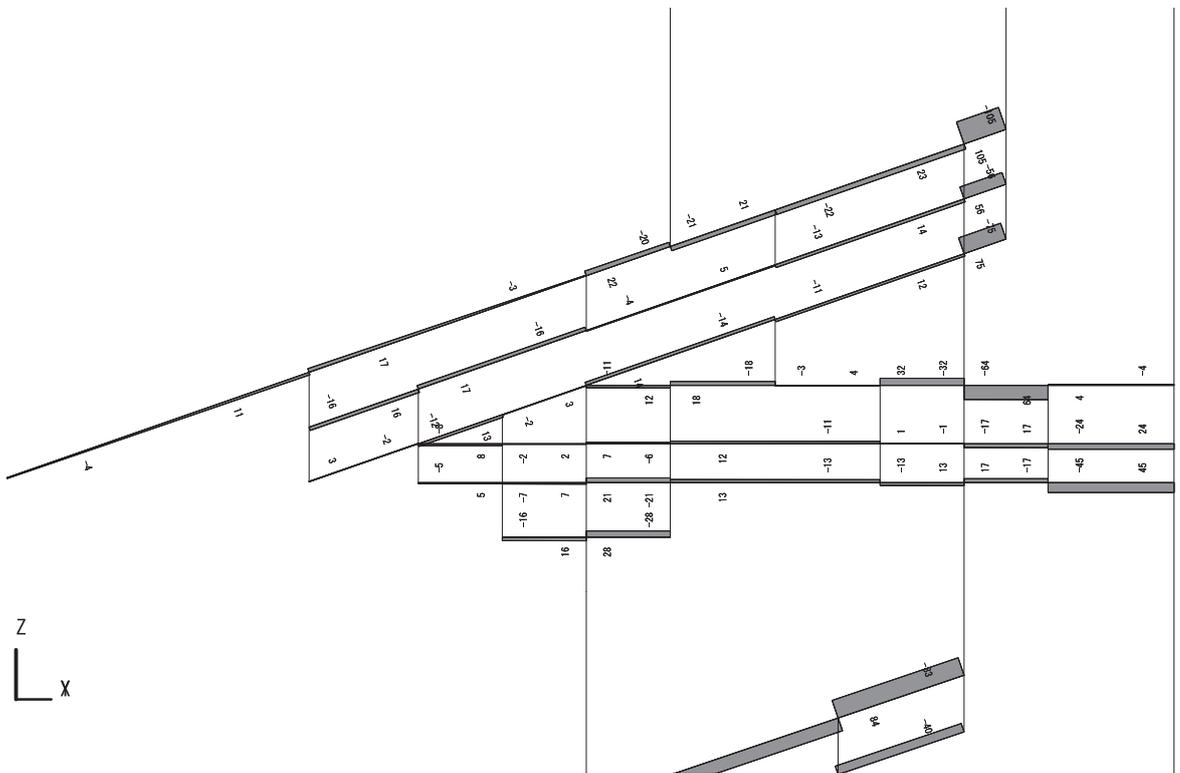
45° (応力図: 長期) 六重地隅木・隅行尾垂木・肘木 せん断力図 単位: kN



45° (応力図：長期) 五重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm

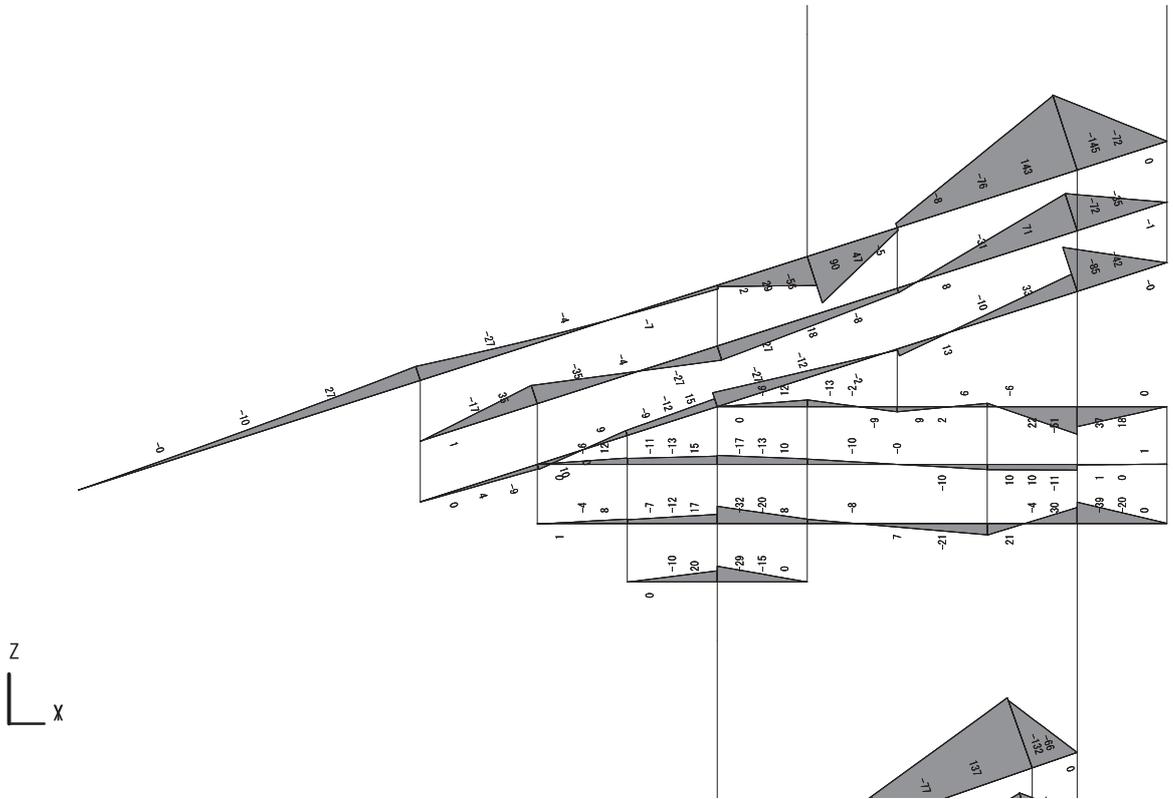


45° (応力図：長期) 五重地隅木・隅行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

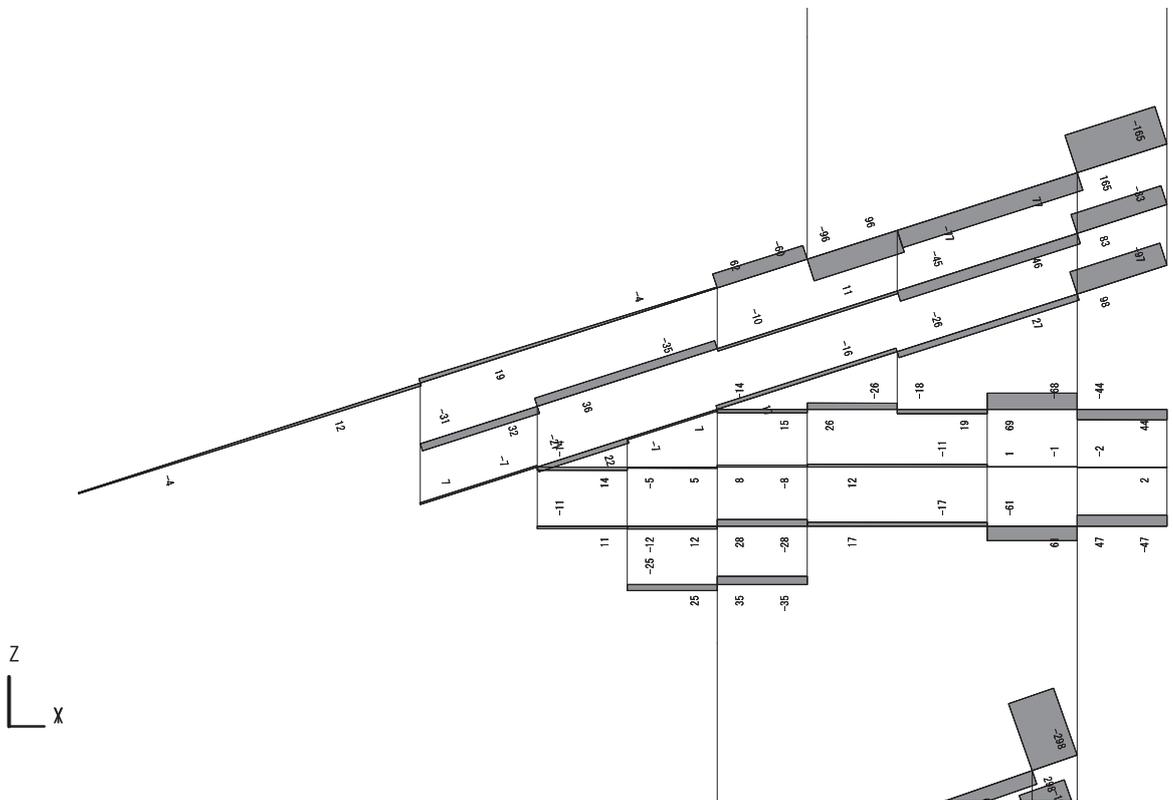




45° (応力図：長期) 三重地隅木・隅行尾垂木・肘木 曲げモーメント図 単位：kNm



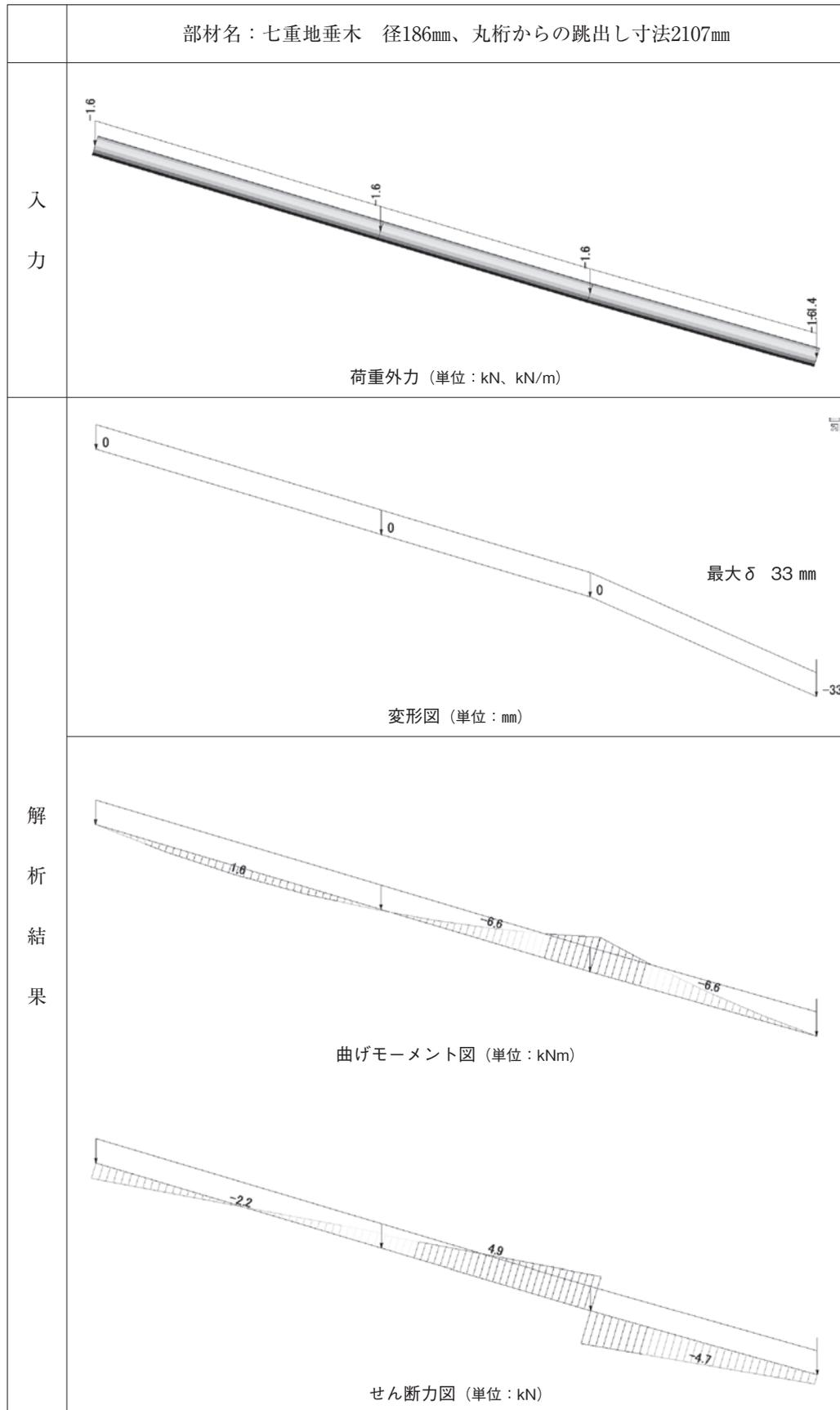
45° (応力図：長期) 三重地隅木・隅行尾垂木・肘木 セン断力図 単位：kN

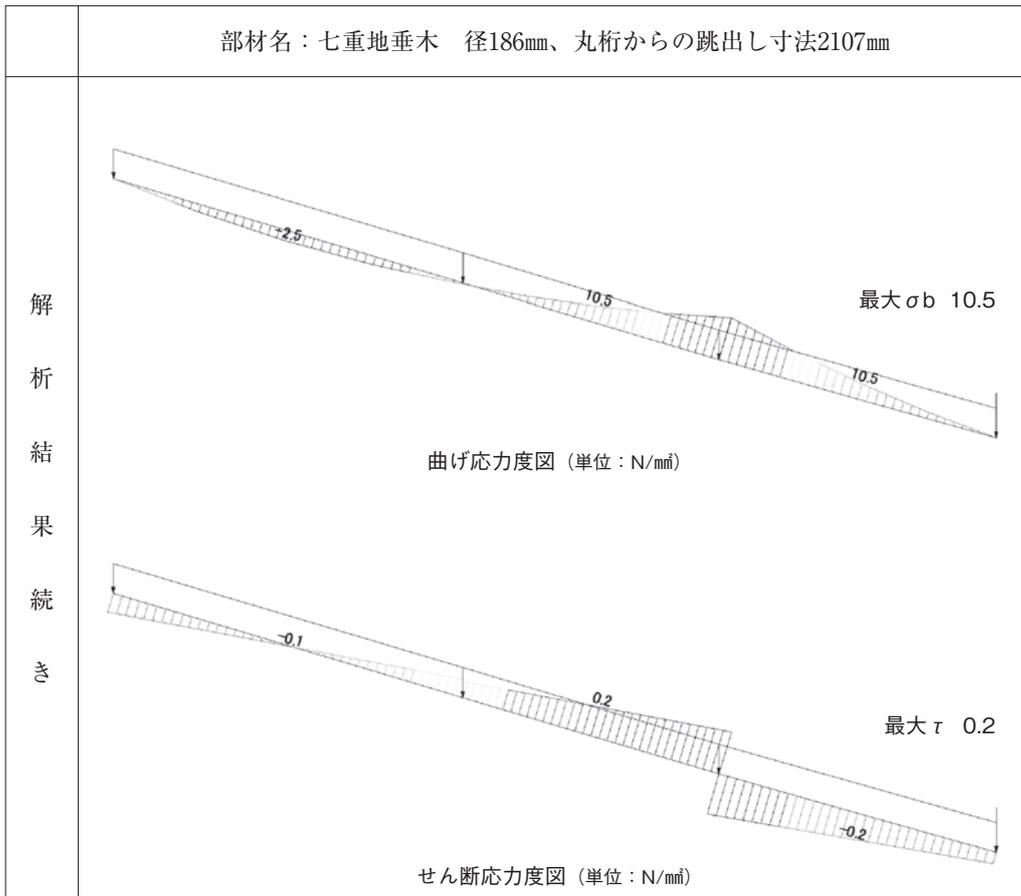


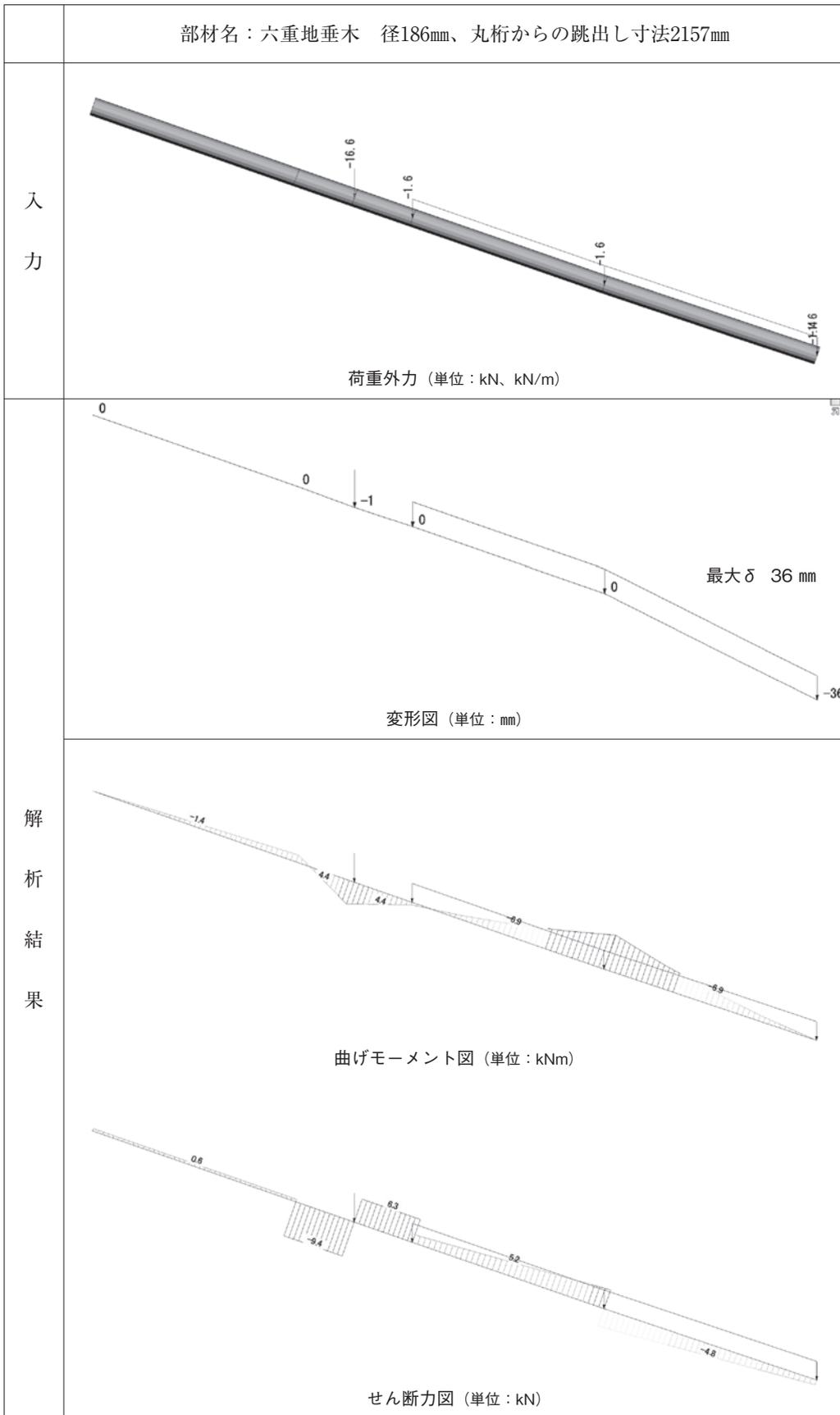


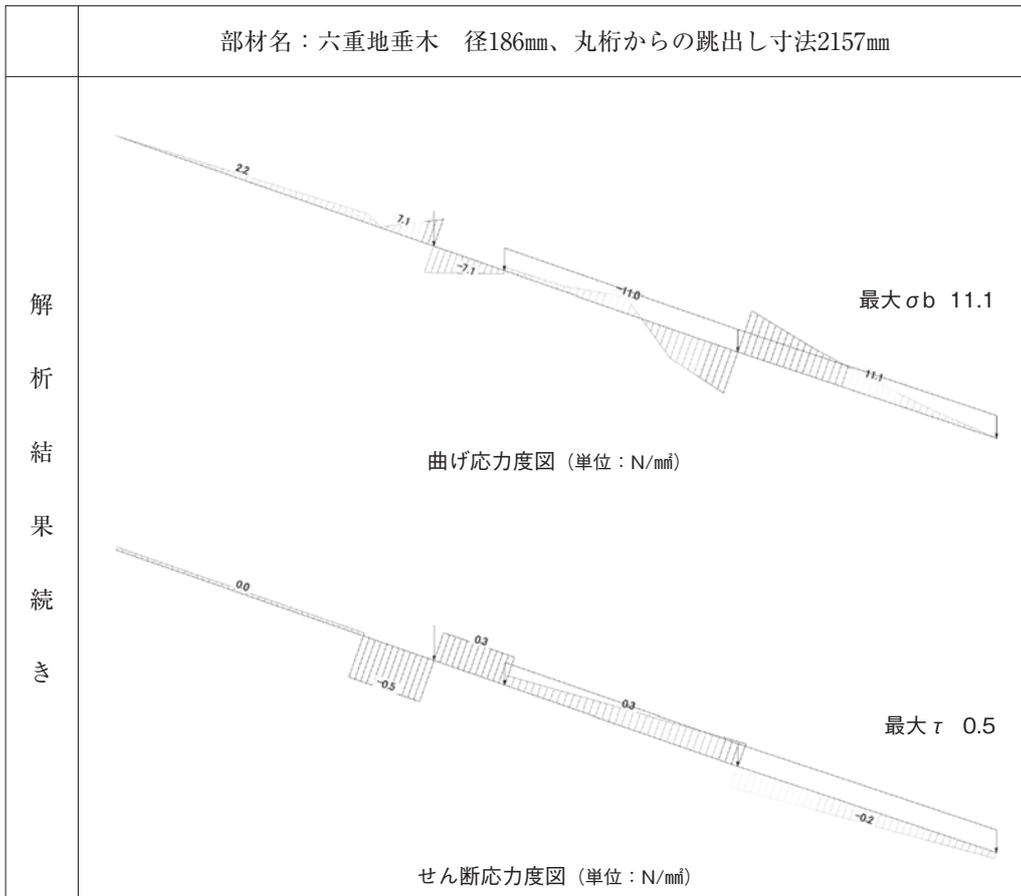


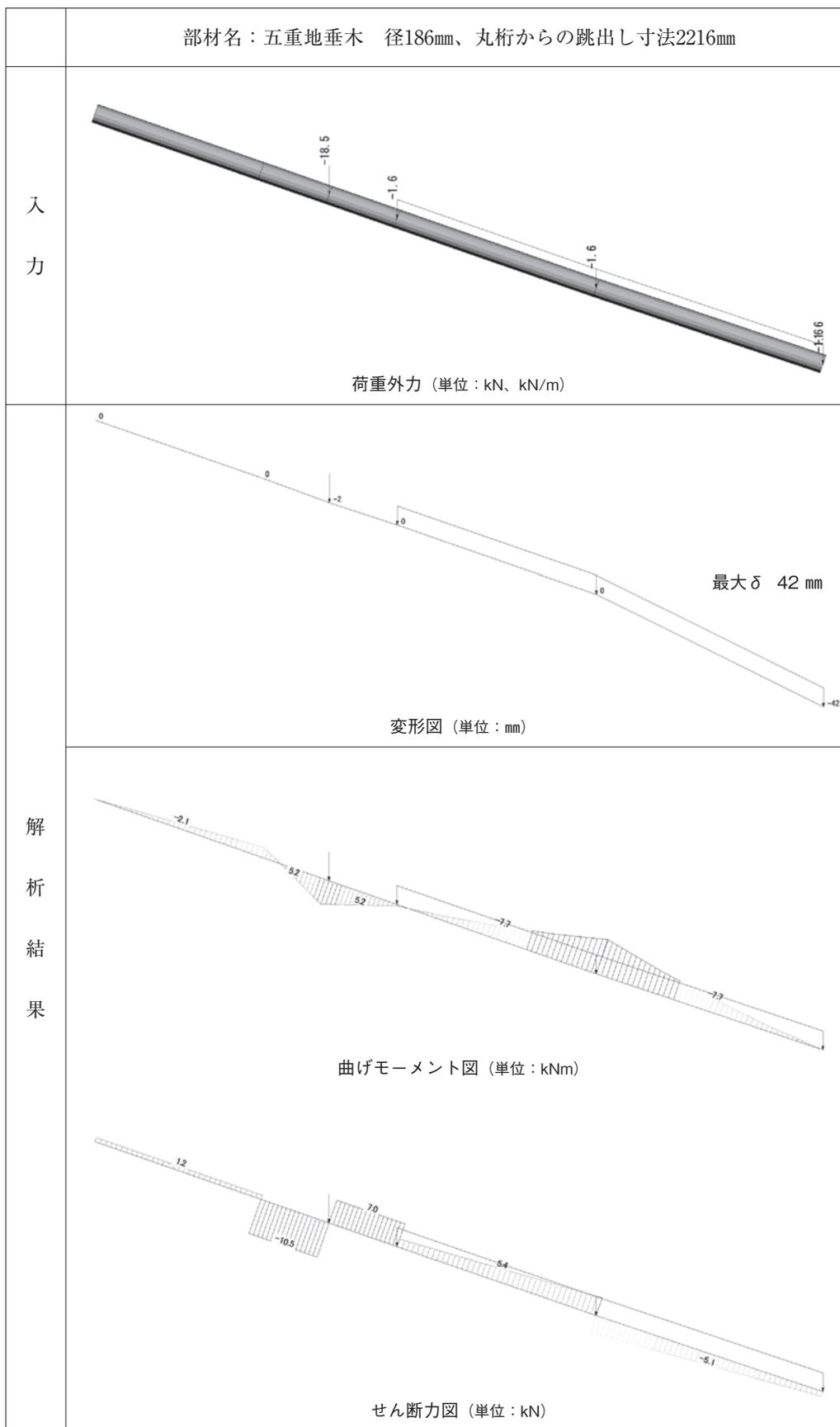
添付資料1 FEM解析による地垂木の応力-変形

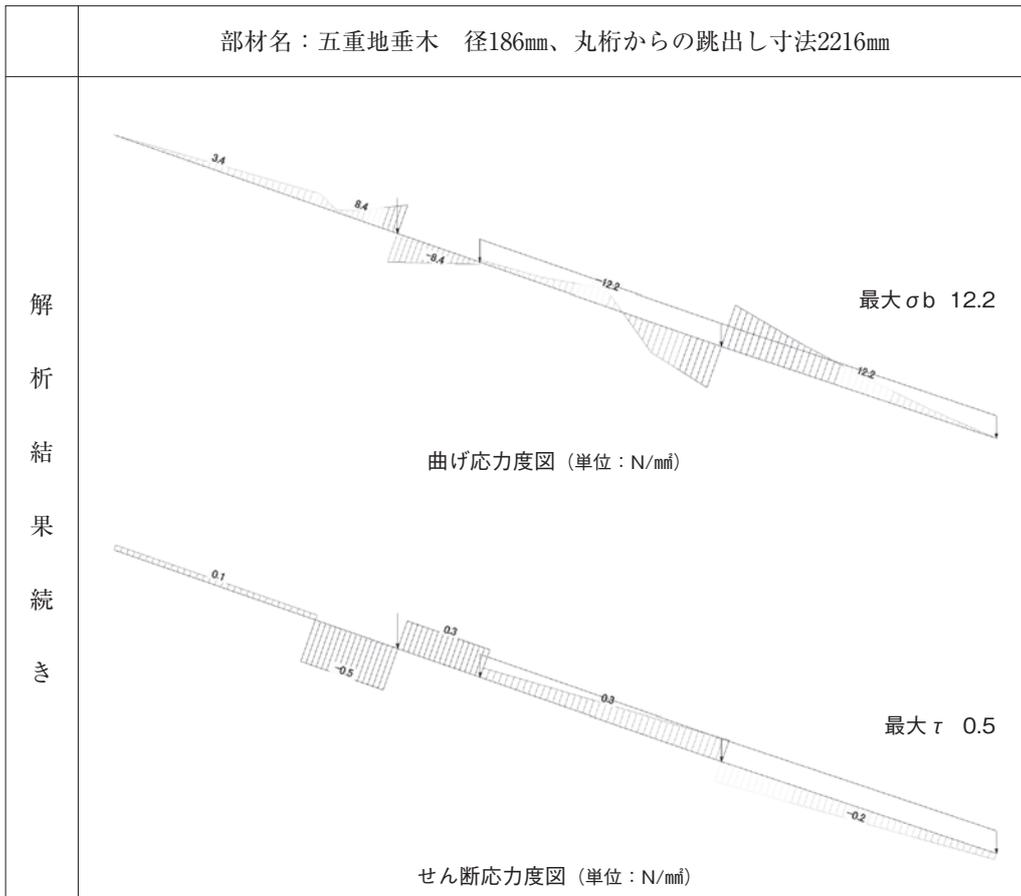


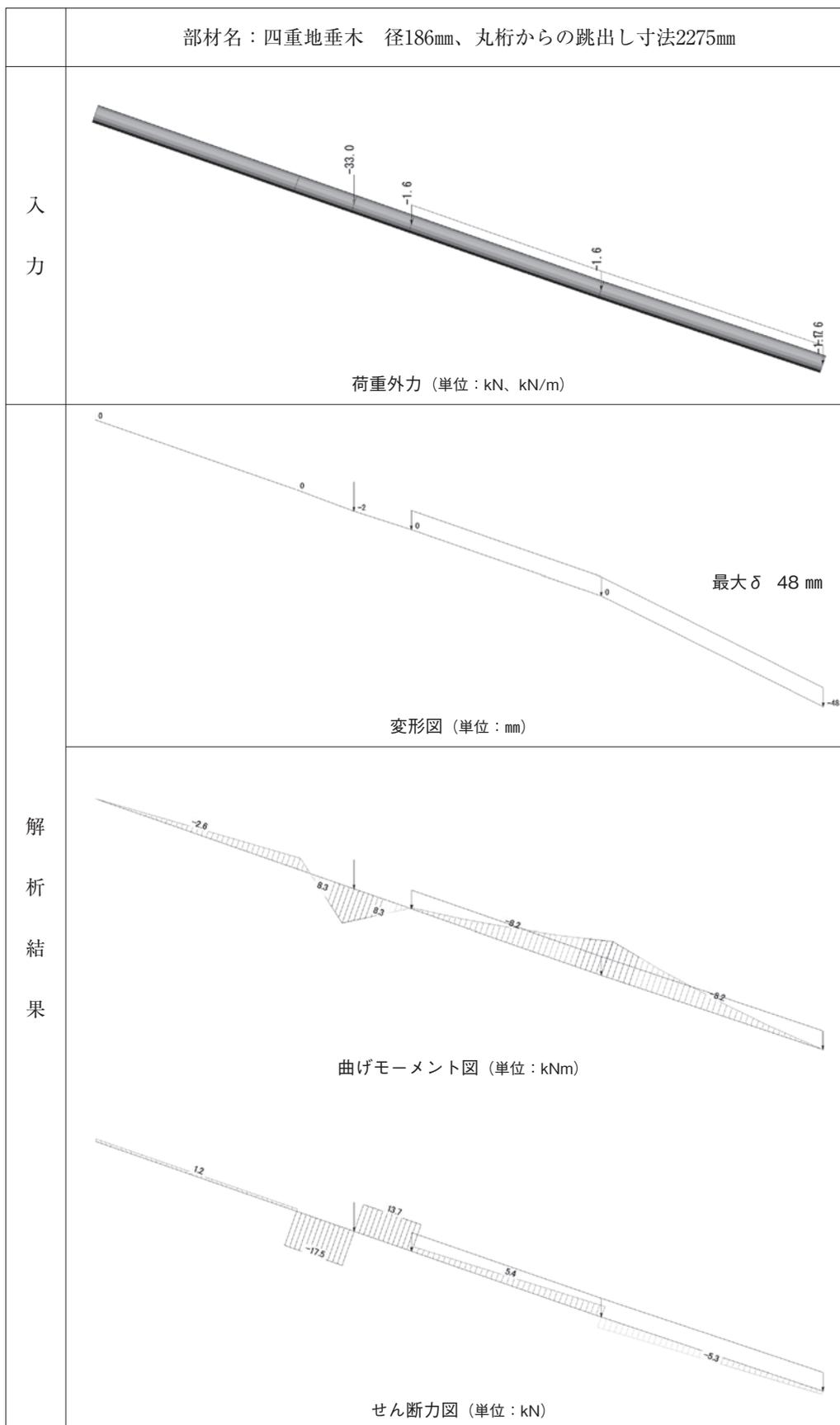


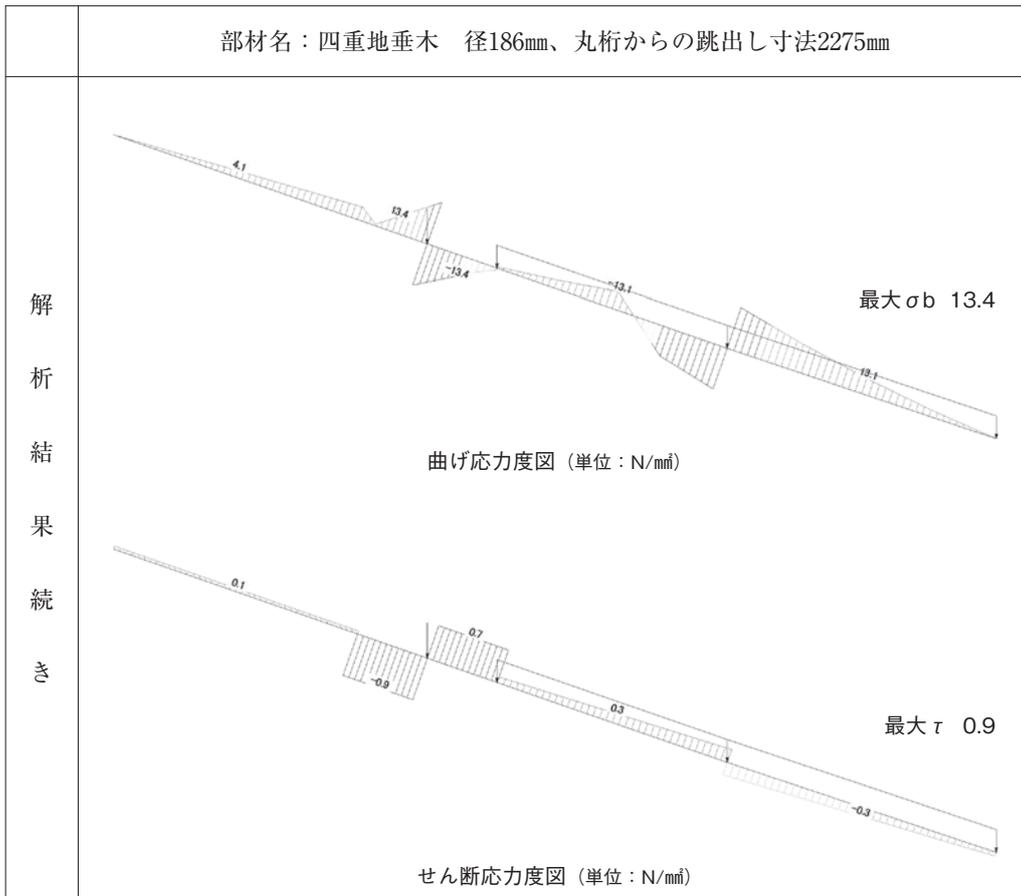


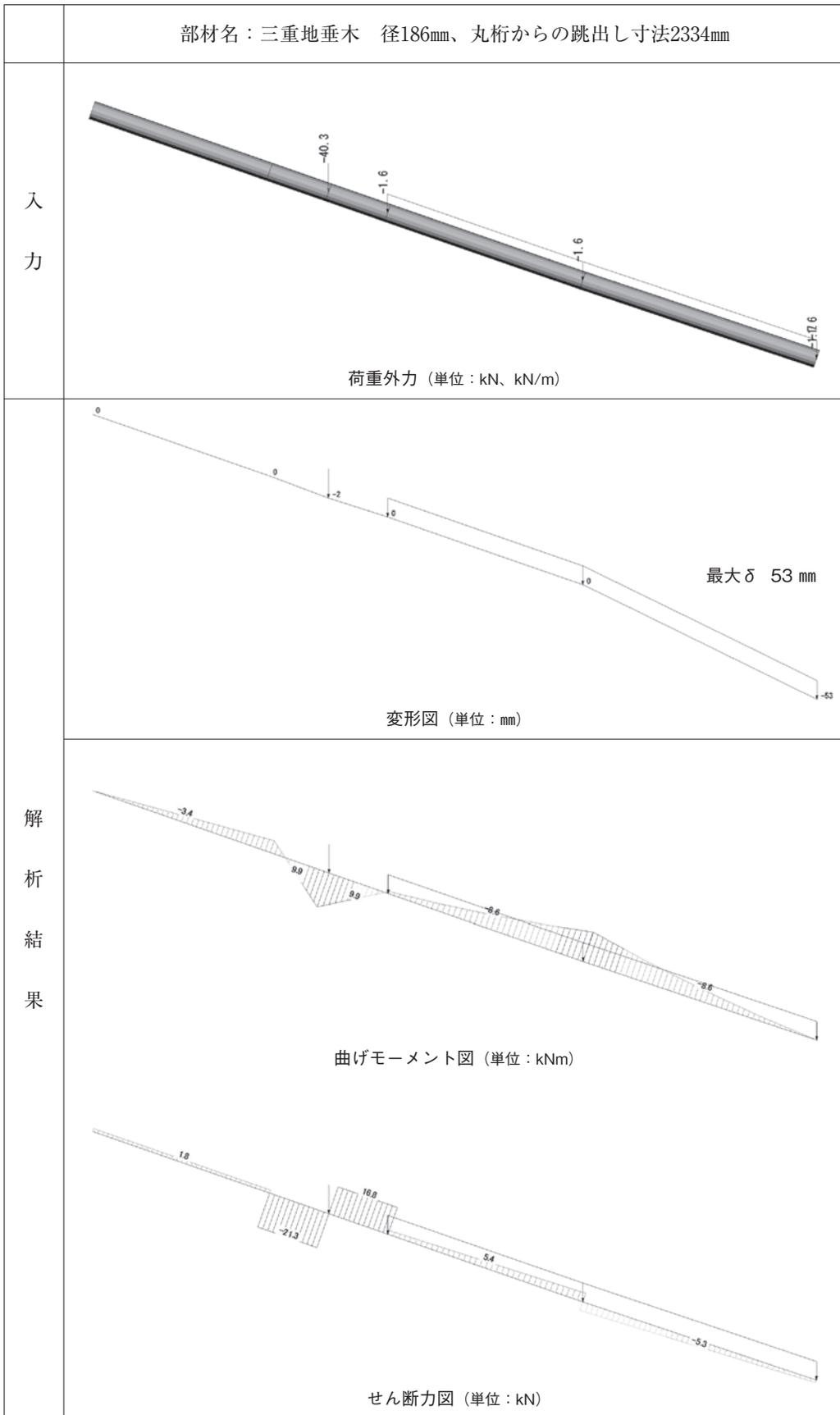


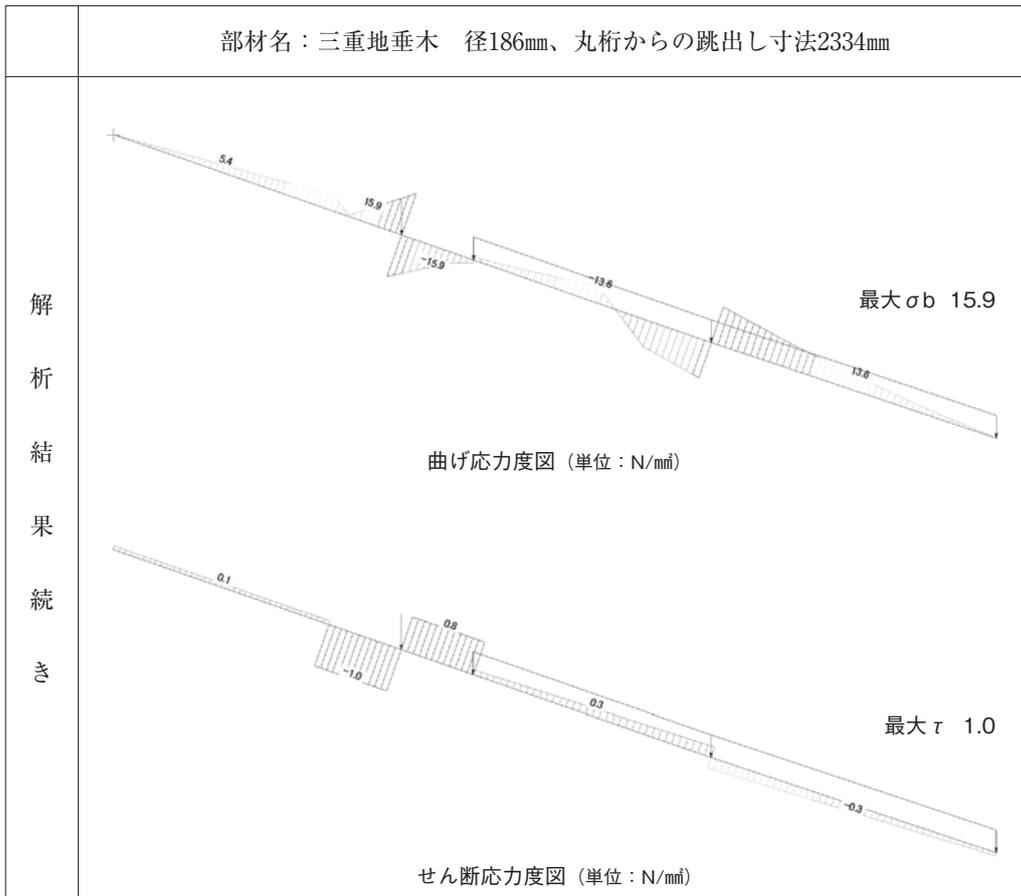


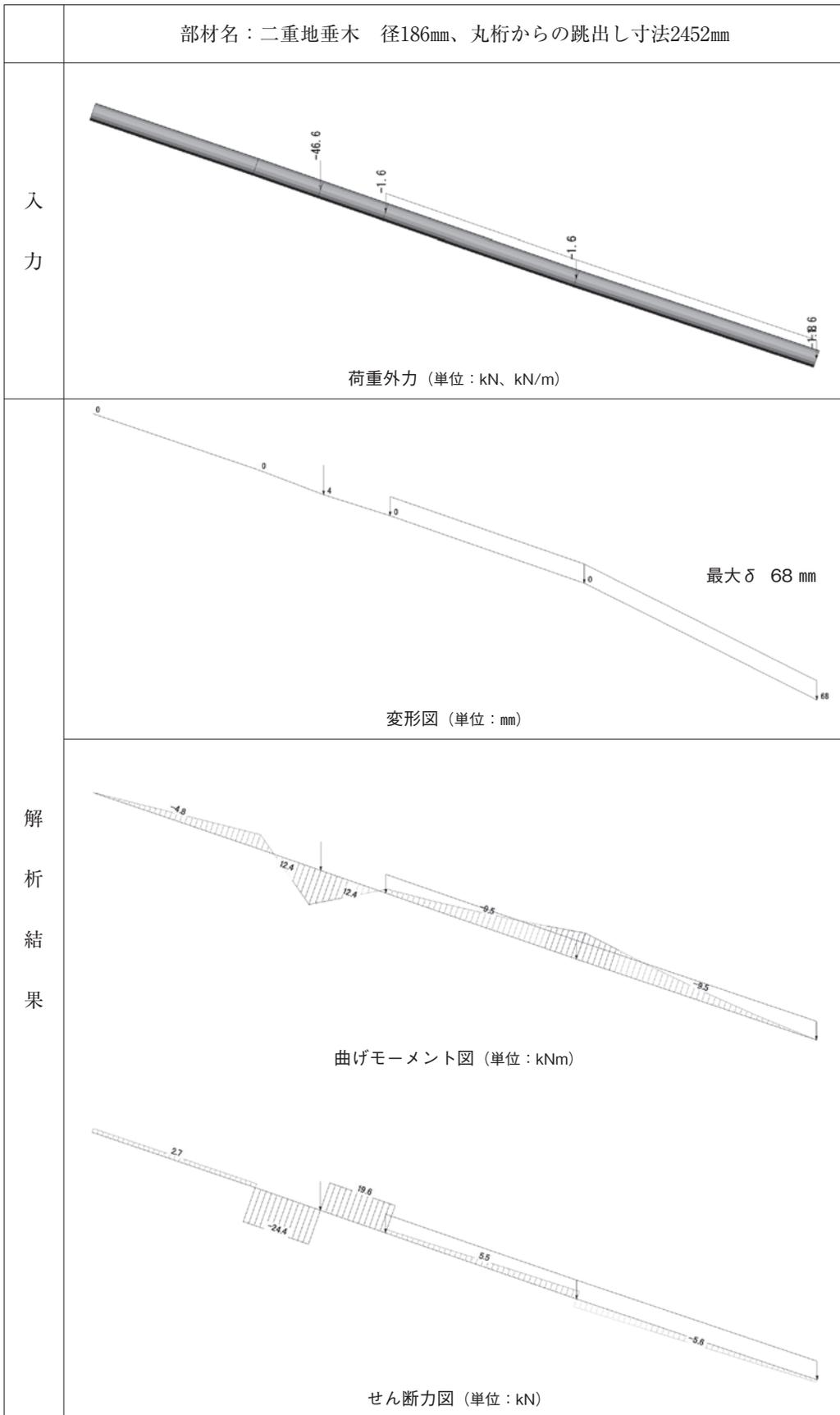


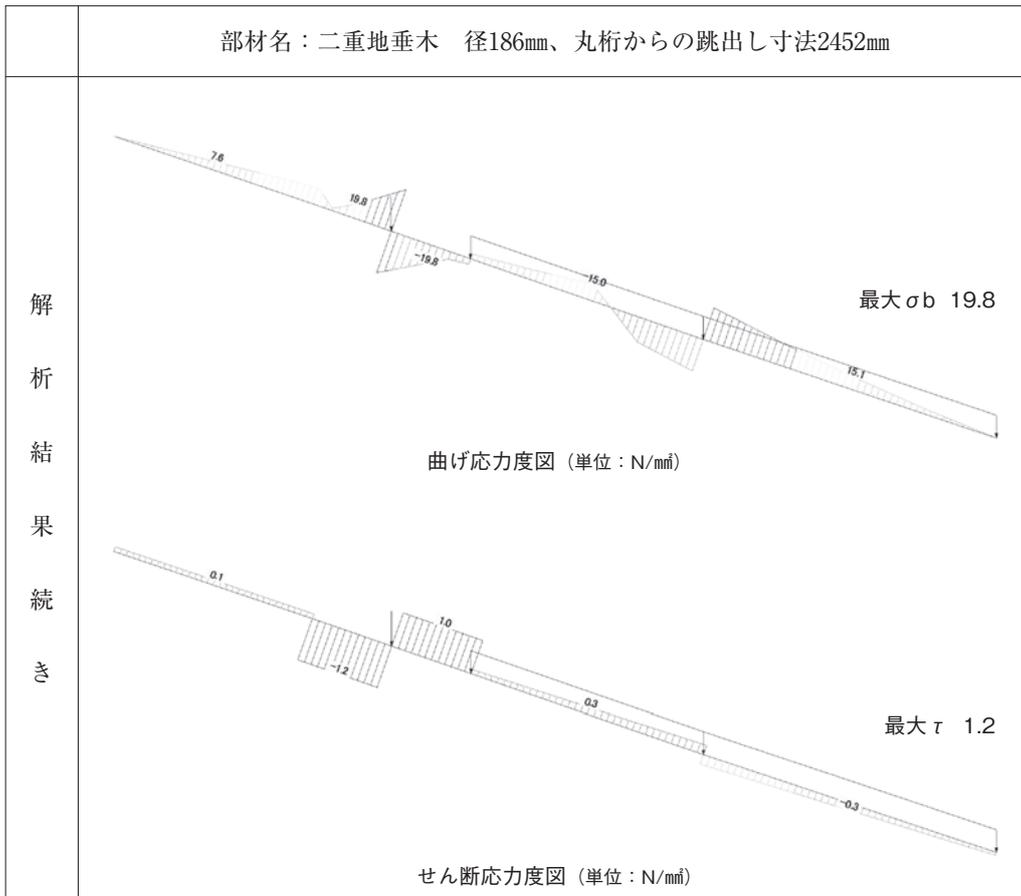


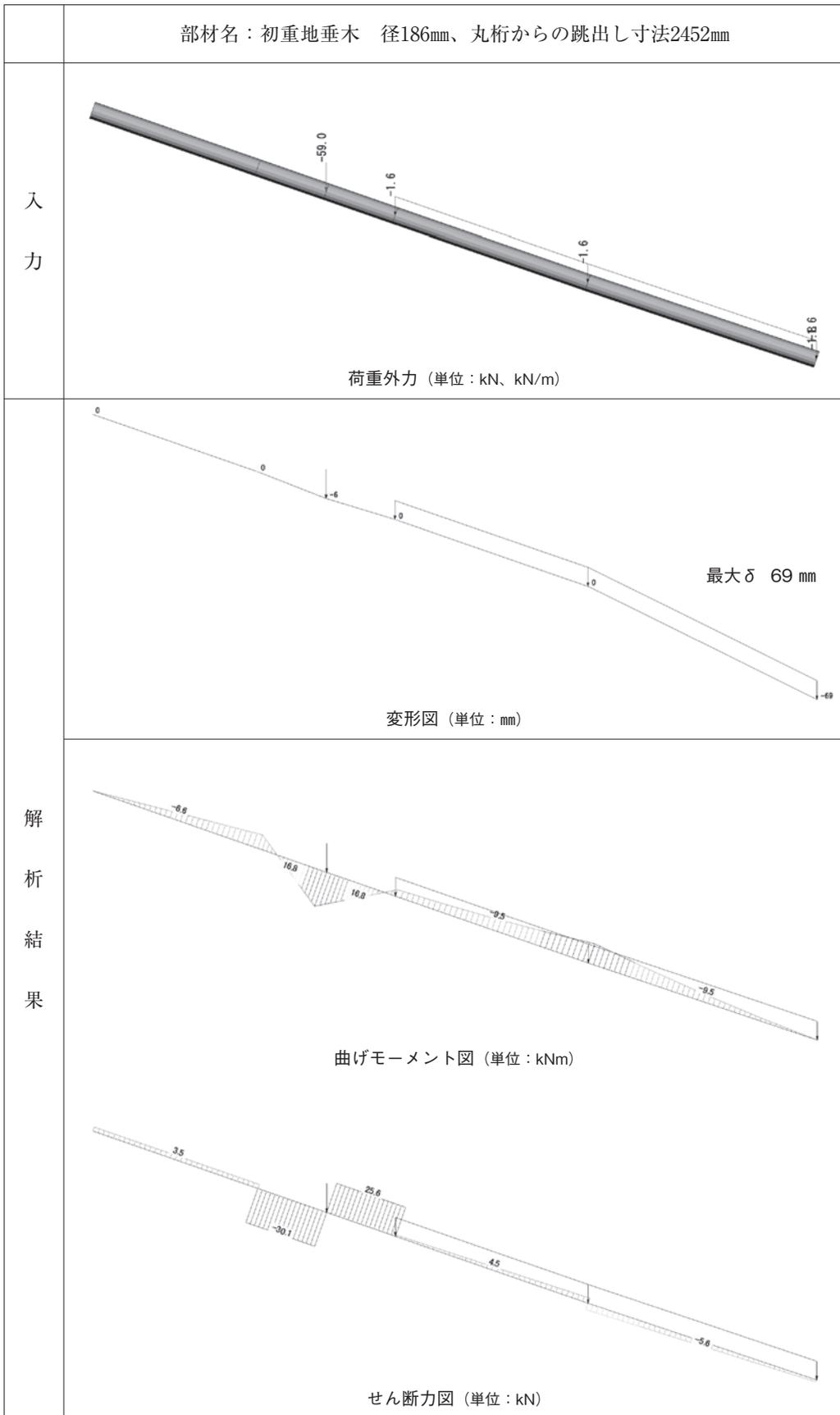


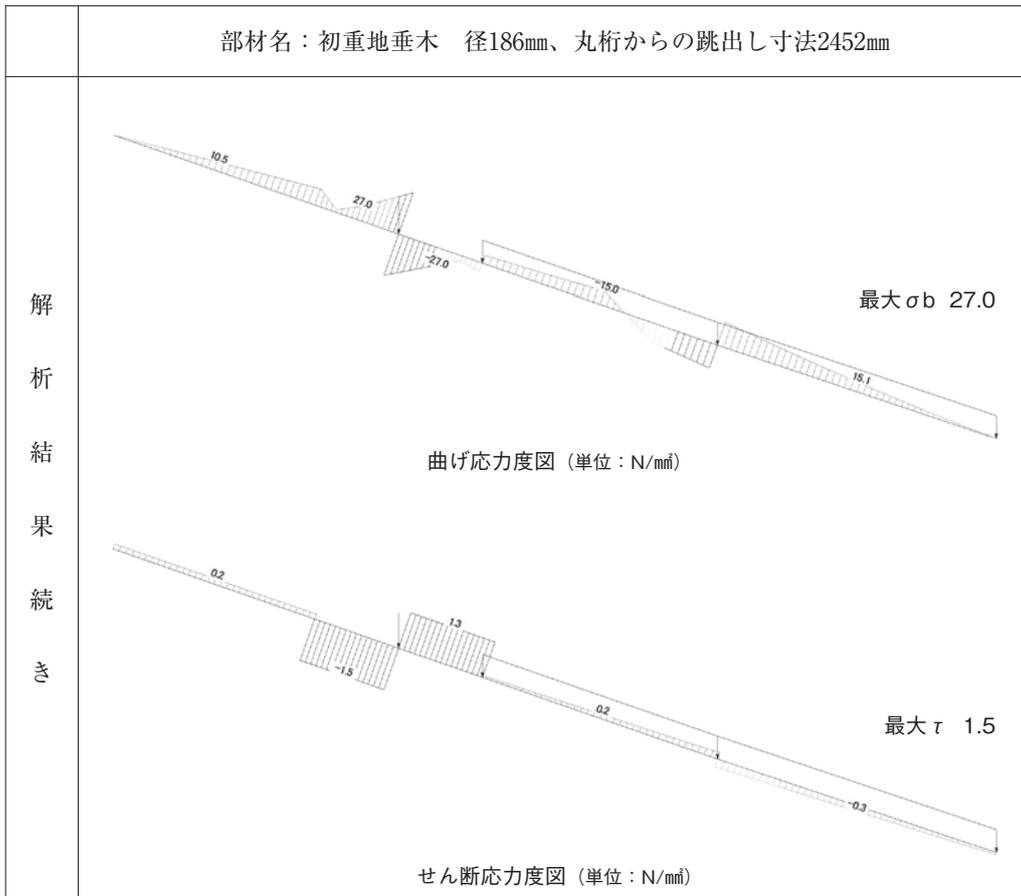




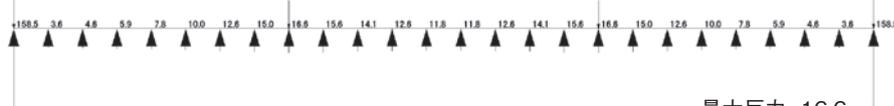
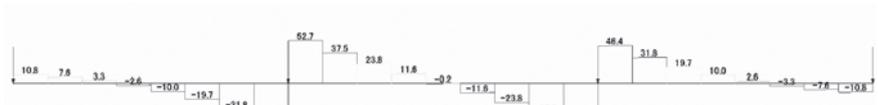
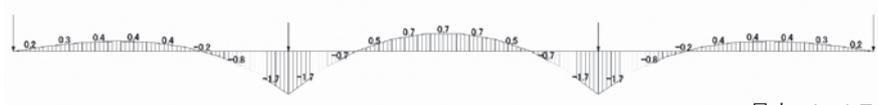
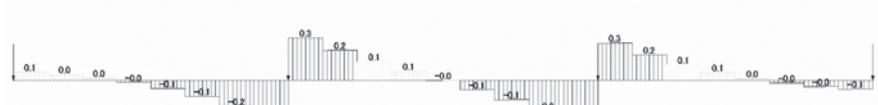


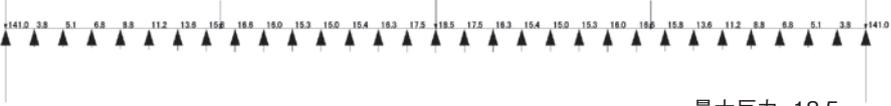
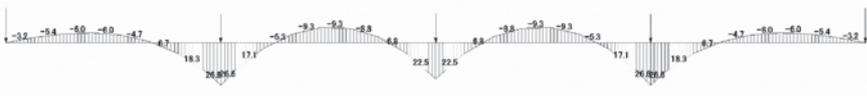


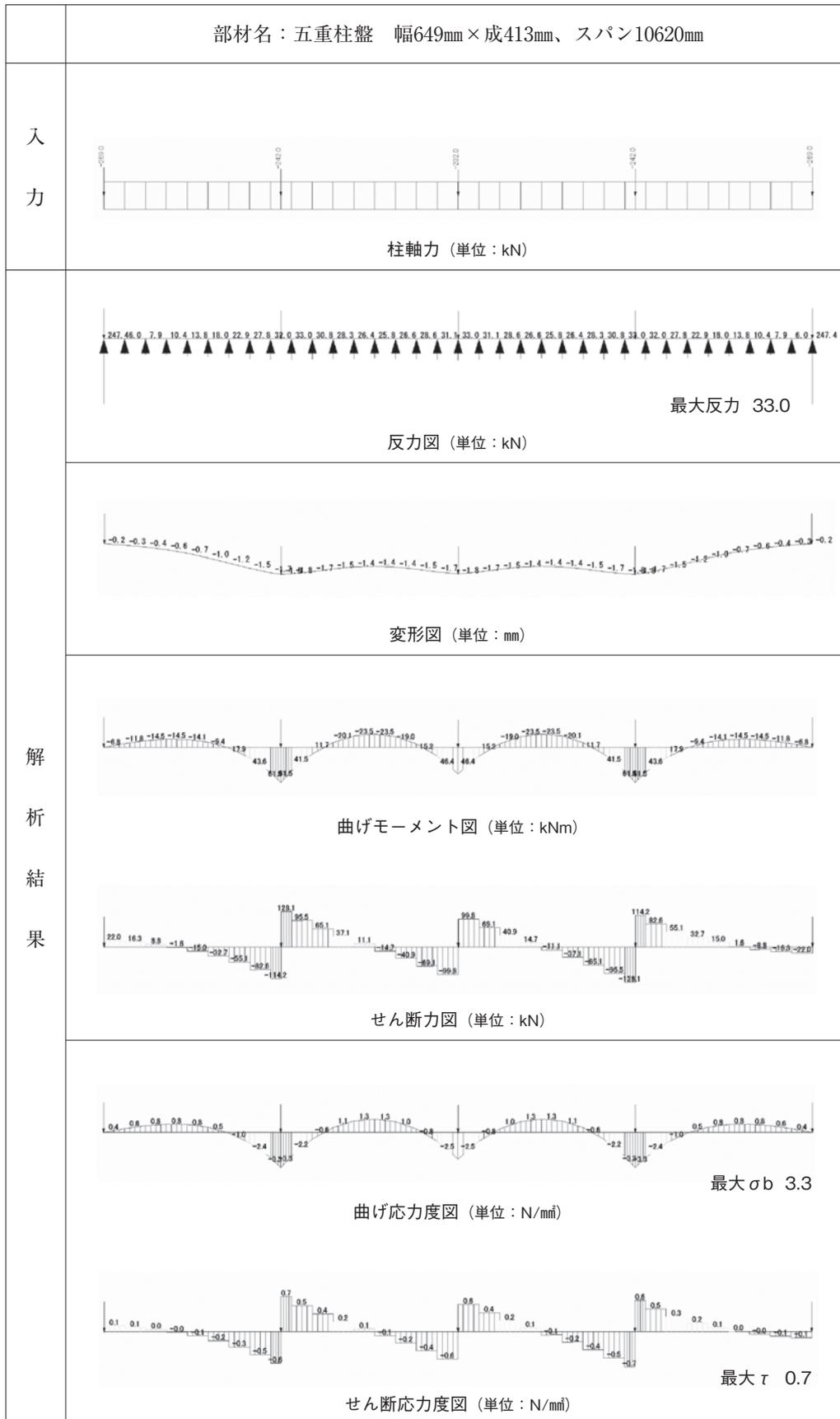


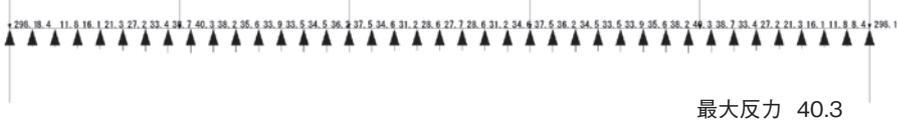
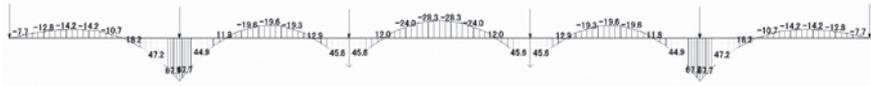
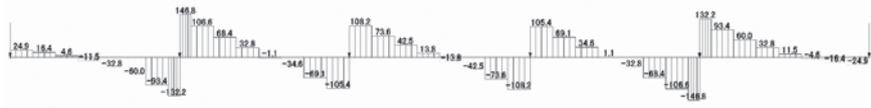
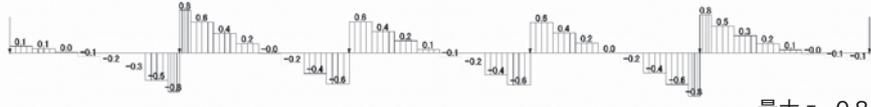


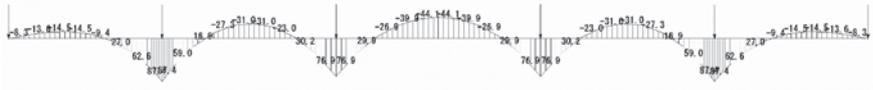
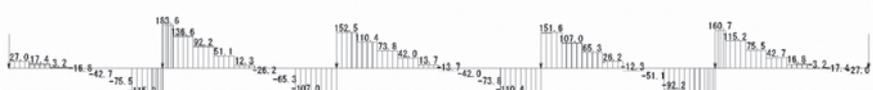
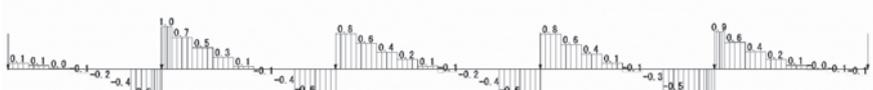
添付資料2 FEM解析による柱盤の応力-変形

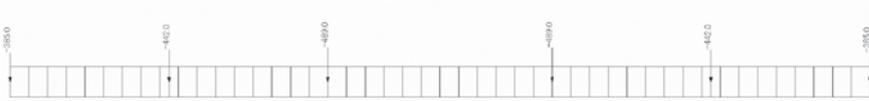
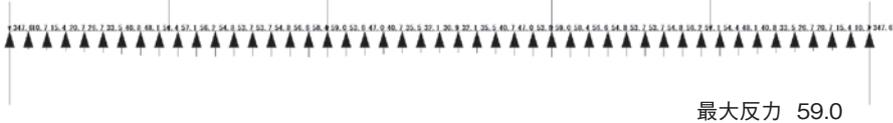
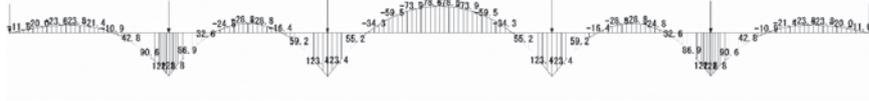
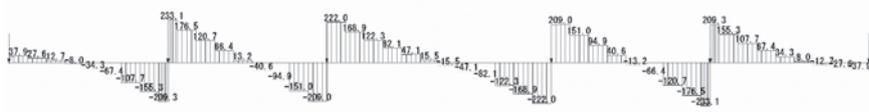
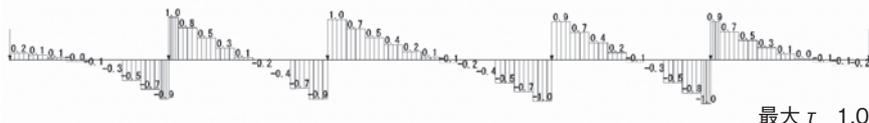
	<p>部材名：七重柱盤 幅620mm×成413mm、スパン8260mm</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
	 <p>最大反力 16.6</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大<math>\sigma_b</math> 1.7</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>  <p>最大<math>\tau</math> 0.3</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>

入力	<p>部材名：六重柱盤 幅634mm×成413mm、スパン9440mm</p>  <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
	 <p>最大反力 18.5</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
解析結果	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>
	 <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大<math>\sigma_b</math> 1.5</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>
	 <p>最大<math>\tau</math> 0.3</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>



	<p>部材名：四重柱盤 幅664mm×成413mm、スパン11800mm</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
<p rowspan="4">解析結果</p>	 <p>最大反力 40.3</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
 <p>変形図 (単位：mm)</p>	
 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>	
 <p>せん断力図 (単位：kN)</p>	
	 <p>最大<math>\sigma_b</math> 3.9</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>
	 <p>最大<math>\tau</math> 0.8</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>

	<p>部材名：三重柱盤 幅678mm×成413mm、スパン12980mm</p>
<p>入 力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
	 <p>最大反力 46.6</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>
	 <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解 析 結 果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>
	 <p>最大σb 4.5</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm²)</p>  <p>最大τ 1.0</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm²)</p>

	<p>部材名：二重柱盤 幅693mm×成502mm、スパン14160mm</p>
<p>入力</p>	 <p>柱軸力 (単位：kN)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>最大反力 59.0</p> <p>反力図 (単位：kN)</p>  <p>変形図 (単位：mm)</p>
<p>解析結果</p>	 <p>曲げモーメント図 (単位：kNm)</p>  <p>せん断力図 (単位：kN)</p>  <p>最大<math>\sigma_b</math> 4.2</p> <p>曲げ応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>  <p>最大<math>\tau</math> 1.0</p> <p>せん断応力度図 (単位：N/mm<sup>2</sup>)</p>

報告書抄録

ふりがな	とうだいじとうとうのふくげんけんきゅう						
書名	東大寺東塔の復元研究						
副書名							
巻次							
シリーズ名	奈良文化財研究所学報						
シリーズ番号	第104冊						
I S B N	978-4-911002-20-9						
編著者名	目黒新悟 山本光良 山本祥隆 西田紀子 箱崎和久 山崎有生 高田祐一 星野安治 今井晃樹						
編集・発行機関	独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所						
所在地	〒630-8577 奈良県奈良市二条町2丁目9番1号 電話：0742-30-6733						
発行年月日	令和6年(2024)3月29日						
研究期間	平成30年(2018)1月1日～令和6年(2024)3月31日 (宗教法人東大寺からの委託による)						
復元の対象	東大寺東塔						
建立・滅失年代	奈良時代創建の東大寺東塔 天平宝字8年(764)に相輪を設置(『東大寺要録』ほか) 治承4年(1180)の南都焼討で焼失(『東大寺続要録』ほか) 鎌倉時代再建の東大寺東塔 重源・栄西らにより再建 貞応2年(1223)に相輪を設置(『百鍊抄』ほか) 康安2年(1362)の雷火で焼失(『嘉元記』)						
復元原案の 員数・構造形式	奈良時代創建の東大寺東塔：1案 五間七重塔婆本瓦葺(全高230.8天平尺=68.1m) 鎌倉時代再建の東大寺東塔：2案 三間七重塔婆本瓦葺(全高320.0鎌倉尺=96.0m) ・重源による構想を想定した大仏様を基調とした案 ・栄西による構想を想定した大仏様・初期禅宗様を基調とした案						
備考	本書は宗教法人東大寺からの委託により作成したもので、 [本文編]と[図版・資料編]の2分冊からなる。						
復元の対象の遺跡	所在地	コード		北緯	東経	種別	主な時代
		市町村	遺跡番号				
史跡東大寺 旧境内 (東塔跡)	奈良県奈良市 雑司町	29201	05D-0032	34°41'22"	135°50'24"	寺院	奈良時代 鎌倉時代

## Abstract of the Report

Title	Theoretical Reconstruction of Tōdaiji's East Pagoda						
Subtitle							
Vol.							
Series Name	Research Report published by Nara National Research Institute for Cultural Properties						
Series No.	104						
ISBN	978-4-911002-20-9						
Editor and Author	MEGURO Shingo, YAMAMOTO Mitsuyoshi, YAMAMOTO Yoshitaka, NISHITA Noriko, HAKOZAKI Kazuhisa, YAMAZAKI Yuki, TAKATA Yuichi, HOSHINO Yasuharu and IMAI Koki						
Editing and Publishing Organization	Nara National Research Institute for Cultural Properties, National Institutes for Cultural Heritage, Independent Administrative Institution, Japan						
Address	2-9-1, Nijo-cho, Nara-shi, Nara, 630-8577, Japan    Tel. +81-(0)742-30-6733						
Date of Issue	29th, March, 2024						
Research Period	From 1st, January, 2018 to 31st, March, 2024 * The research was commissioned by Tōdaiji, a religious corporation.						
Subject of Theoretical Reconstruction	Tōdaiji's East Pagoda						
Completion and Destruction Year	<p>The Nara-Period East Pagoda. The pagoda finial was constructed in 764 according to "Tōdaiji yōroku", etc. The pagoda was destroyed by the siege of Nara in 1180 according to "Tōdaiji zokuyōroku", etc.</p> <p>The Kamakura-Period East Pagoda rebuilt by Chōgen, Eisai/Yōsai, et al. The pagoda finial was constructed in 1223 according to "Hyakurenshō", etc. The pagoda was destroyed by the lightning in 1362 according to "Kagenki".</p>						
Number and Structure & Form of the Theoretical Reconstruction	<p>The Nara-Period East Pagoda. One theoretical reconstruction. Five bays, seven-story pagoda, traditional tiled roof. The total height of the pagoda body and finial is 68.1 meters.</p> <p>The Kamakura-Period East Pagoda rebuilt by Chōgen, Eisai/Yōsai, et al. Two theoretical reconstructions. Three bays, seven-story pagoda, traditional tiled roof. The total height of the pagoda body and finial is 96.0 meters.</p> <p>The Chōgen Reconstruction: Great buddha style. The Eisai/Yōsai Reconstruction: Great buddha style and early zen style.</p>						
Notes	The report was commissioned by Tōdaiji, a religious corporation and consists of two volumes: [Main Report] and [Figures and Structural Analysis Materials].						
Historic Site of Reconstruction	Location	Code		North Latitude	East Longitude	Type	Main Period
		Municipality	Historic Site				
East Pagoda Site, The Former Site of Tōdaiji as a National Historic Site	Zoshicho, Nara-shi, Nara	29201	05D-0032	34°41'22"	135°50'24"	Temple	Nara period and Kamakura period

令和6年(2024)3月22日 印刷

令和6年(2024)3月29日 発行

# 東大寺東塔の復元研究

[図版・資料編]

奈良文化財研究所学報第104冊

〒630-8577  
奈良県奈良市二条町2丁目9番1号  
独立行政法人 国立文化財機構  
奈良文化財研究所

〒920-0855  
石川県金沢市武蔵町7番10号  
能登印刷株式会社

ISBN 978-4-911002-20-9



